



# **Metodología para la zonificación del riesgo de incendio en Aragón. Aplicación a la zona de meteoalerta de Zuera (MEB-Z).**

**Tutor académico: Domingo M. Molina Terrén**

**Co-Tutor : Rafael López del Río (D.G.A)**

**AUTOR: Francisco Javier Alamañac Orduna**

**FECHA: 20 de Junio de 2014, Córdoba**

## Agradecimientos

---

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas físicas y entidades que me han apoyado en el desarrollo de este trabajo a lo largo del último año iniciado con la realización de las prácticas de Máster de incendios y finalizando con el desarrollo de este proyecto.

A Rafael López del Río por haberme dirigido este proyecto. Por todas las atenciones, el tiempo que ha dedicado, su apoyo, su fuerza, su confianza e ilusión por el trabajo bien hecho.

Difícil es nombrar a cada uno de vosotros pero de forma general quiero resaltar mi agradecimiento a los "compañeros y amigos" de la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón por su interés y facilidad en la resolución de dudas.

Especialmente a Verónica Martín por su apoyo constante, su ayuda prestada en sistemas de información geográfica y la paciencia que ha tenido conmigo. A Rubén Hernández por compartir sus conocimientos en meteorología así como la accesibilidad para desarrollar el trabajo de campo.

Mi agradecimiento al profesor Domingo Molina por las merecidas correcciones y el rigor de sus aportaciones.

Y finalmente, no puedo dejar de agradecer la comprensión de mis familiares y todo aquel que, directa o indirectamente, ha estado sufriendo las monotemáticas conversaciones acaecidas a lo largo de la elaboración de este proyecto.

Solo puedo decir, gracias a todos.

# Índice

Agradecimientos .....	2
Índice .....	3
Resumen .....	8
Introducción .....	9
Los incendios forestales en Aragón .....	9
Zonificación: Zonas de Meteoalerta .....	9
Regulación de los incendios forestales: Carácter europeo, Nacional y Autonómico .....	10
Antecedentes .....	11
Objetivos .....	14
Materiales y métodos .....	16
Zona de Estudio .....	16
Descripción del medio natural .....	16
Fisiografía .....	16
Geología y edafología .....	17
Clima y vegetación potencial .....	17
Zonas de actuación prioritaria .....	18
1. Peligrosidad potencial .....	18
1.1 Peligro estadístico de incendios .....	18
Frecuencia .....	19
Gravedad .....	20
Peligro estadístico integrado .....	20
1.2 Peligro estructural simulado .....	20
Fases de elaboración .....	20
Fase I. Metodología para determinación de modelos de combustible .....	21
Fase II. Estudio de histórico de incendios para la determinación de características meteorológicas principales y el patrón de propagación .....	21
Fase III. Obtención de datos requeridos para realizar la simulación .....	22
Fase IV. Realización de simulaciones .....	27
1.3 Elementos de riesgo .....	27
Rayos .....	27
Antrópicos: Infraestructuras y áreas de riesgo .....	28
1.4 Peligro potencial integrado .....	30
2. Importancia de protección .....	31
2.1 Calidad/Valor .....	31
Bienes socio-económico-culturales .....	31

Ambientales.....	32
2.2 Vulnerabilidad/Fragilidad .....	36
Factores socioeconómico .....	36
Ambientales.....	37
2.3 Importancia de protección integrada.....	46
Clasificación de las áreas de defensa prioritaria .....	47
Resultados .....	49
Peligro estadístico de incendios .....	50
Índice de frecuencia .....	50
Índice de gravedad .....	50
Peligro estadístico integrado.....	50
Peligro estructural simulado .....	51
Peligro estructural final .....	54
Elementos de riesgo.....	56
Elementos naturales.....	56
Antrópicos: Infraestructuras y áreas de riesgo .....	56
Peligro potencial integrado .....	58
Importancia de protección .....	60
Calidad/Valor .....	60
Factores socioeconómicos .....	60
Factores ambientales .....	60
Con valor de mercado.....	61
Sin valor de mercado .....	61
Calidad/Valor .....	63
Vulnerabilidad/fragilidad.....	64
Factores socioeconómicos .....	64
Factores Ambientales .....	64
Vulnerabilidad/fragilidad.....	69
Importancia de protección .....	70
Zonas de defensa prioritaria.....	70
Discusión y líneas de mejora .....	73
Conclusiones.....	76
Bibliografía .....	78

## Tablas y figuras

Tabla 1 Clasificación de índice de Frecuencia Fuente: Metodología Plan Comarcal.....	19
Tabla 2 Clasificación de índice de Gravedad Fuente: Metodología Plan Comarcal .....	20
Tabla 3 Clasificación de peligro estadístico integrado Fuente: Metodología Plan Comarcal .....	20
Tabla 4 Características meteorológicas principales en zona de estudio según incendios históricos. Fuente: Elaboración Propia.....	22
Tabla 5 Datos requeridos por WildFlre Analyst para realización de simulaciones. Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 6 Modelo de combustible de porte arbóreo -+a partir de la altura (h) y fracción de cabida cubierta (FCC). Fuente: Elaboración propia .....	23
Tabla 7 Características de los modelos de porte arbóreo. Fuente: Elaboración propia .....	23
Tabla 8 Estimación humedad mediante programa Nexus para combustible de 1 hora. Fuente: Elaboración propia .....	24
Tabla 9 Estimación humedad mediante programa Nexus para combustible de 10 hora. Fuente: Elaboración propia .....	25
Tabla 10 Estimación humedad mediante programa Nexus para combustible de 100 hora. Fuente: Elaboración propia .....	25
Tabla 11 Valores implementados de la carga de combustible para los modelos elaborados. Fuente: Elaboración propia.....	25
Tabla 12 Codificación velocidad de propagación. Fuente: Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008.....	26
Tabla 13. Codificación intensidad de frente de llama. Fuente: Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008 .....	26
Tabla 14. Codificación fuego de copas. Fuente: Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008	26
Tabla 15 Codificación de valores del riesgo estructural para cada situación analizada. Fuente: Metodología Plan comarcal .....	27
Tabla 16 Codificación valores del riesgo estructural medio. Fuente: Metodología Plan comarcal.....	27
Tabla 17 Clasificación densidad de rayos. Fuente: Metodología Plan Comarcal.....	28
Tabla 18 Clasificación de peligro potencial de incendios.....	31
Tabla 19 Codificación de las infraestructuras. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 20 Evaluación de productos forestales con valor de mercado. Fuente: Elaboración propia a partir de Ruiz-Peinado et a., 2011.....	32
Tabla 21 Codificación de los valores de mercado de la Biomasa. Fuente: elaboración propia.....	33
Tabla 22 Codificación de la diversidad de las masas forestales. Fuente: Metodología Plan Comarcal.....	33
Tabla 23. Codificación de series de vegetación definidas por Rivas- Martinez. ....	34
Tabla 24. Caracterización del estado actual de la masa según modelo de combustible. Fuente: elaboración propia .....	34
Tabla 25 Codificación del Nivel evolutivo de los sistemas forestales. Fuente: elaboración propia.....	35
Tabla 26 Codificación de los espacios naturales protegidos. Fuente: Elaboración propia .....	36

Tabla 27 Codificación para las estructura de interés geológico. Fuente: Elaboración propia .....	36
Tabla 28 Índice de infraestructuras en función de la vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de metodología plan comarcal.....	37
Tabla 29 Potencial de regeneración de la especie en función de modelo de combustible LiDAR. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 30 Definición de fragilidad en función de las especies arbóreas. Fuente: Elaboración propia .....	38
Tabla 31. Hipótesis utilizadas para definir IBL en función de posición geomorfológica. Fuente: elaboración propia .....	40
Tabla 32 Matriz-resumen de definición de la intensidad bioclimática libre para cada zona y posición geomorfológica. Fuente: elaboración propia .....	40
Tabla 33. Factor K para determinar la productividad potencial Fuente: Gandullo y Serrada 1977 .....	41
Tabla 34 Factor de ponderación de sombreado en función de situación. Fuente: elaboración propia a partir de metodología plan comarcal.....	41
Tabla 35. Categorías indicadas para definir el potencial de regeneración de la estación. Fuente: metodología plan comarcal .....	42
Tabla 36 Clasificación del factor K según la litología. Fuente: elaboración propia .....	43
Tabla 37 Factores valor C en función de cubierta vegetal. Fuente: Elaboración propia .....	44
Tabla 38. Clasificación erosión laminar para el cálculo del riesgo. Fuente: MAGRAMA.....	45
Tabla 39. Tabla resumen de los parámetros introducidos en simulador WildFire Analyast para zona de NW. Fuente: elaboración propia .....	51
Tabla 40 . Caracterización de la superficie afectada en función del riesgo estructural para la situación de NW. Fuente: elaboración propia .....	52
Tabla 41. Tabla resumen de los parámetros introducidos en simulador WildFire Analyast para zona de NW. Fuente: elaboración propia .....	53
Tabla 42 Superficie afectada en función de la clasificación del riesgo estructural para situación de sureste. Fuente: elaboración propia .....	53
Tabla 43 Factor de ponderación de los elementos de riesgo antrópicos en función de la causalidad. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 44 Clasificación de los elementos de riesgo antrópico Fuente: Elaboración propia .....	58
Tabla 45 Superficie clasificada en función del riesgo potencial. Fuente: Elaboración propia .....	59
Tabla 46. Análisis de biomasa a partir del modelo de combustible aéreo. Fuente: Elaboración propia.....	61
Tabla 47 Resultados de IBL según región climática y posición geomorfológica. Fuente: elaboración propia ...	66
Tabla 48 Localización de punto para determinación factor R. Fuente: <a href="http://sig.magrama.es/siga">http://sig.magrama.es/siga</a> . ....	68
Tabla 49 Determinación parámetro K para ecuación USLE. Fuente: elaboración propia .....	68
Tabla 50. Determinación parámetro C para erosión USLE. Fuente: Elaboración propia .....	68
Ilustración 1 División de Aragón en zonas de meteoalerta .....	10
Ilustración 2 Localización del área objeto de estudio respecto a la comunidad autónoma de Aragón .....	16
Ilustración 3 Diagrama resumen de elaboración de riesgo potencial. Fuente: Elaboración propia .....	30
Ilustración 4 Esquema-resumen de la evaluación de importancia potencial. Fuente: Elaboración propia.....	46

Ilustración 5 Zonificación de las áreas de defensa prioritaria en función de peligro potencial e importancia de protección. Fuente: Elaboración propia .....	47
Ilustración 6 Riesgo estructural integrado para situación de noroeste. Fuente: Elaboración propia .....	52
Ilustración 7 Riesgo estructural integrado para situación de sureste. Fuente: Elaboración propia .....	54
Ilustración 8 Riesgo estructural integrado total. Fuente: Elaboración propia .....	55
Ilustración 9. Densidad de rayos en área de estudio . Fuente: Elaboración propia.....	56
Ilustración 10 Peligro potencial integrado . Fuente: Elaboración propia .....	59
Ilustración 11 Factores ambientales en el apartado de Calidad/Valor. Fuente: Elaboración propia .....	60
Ilustración 12. Índice de diversidad para la determinación de Calidad/Valor. Fuente: elaboración propia .....	62
Ilustración 13. Clasificación de figuras de protección para la determinación de Calidad/Valor. Fuente: Elaboración propia.....	63
Ilustración 14. Índice de Calidad/Valor. Fuente: elaboración propia.....	64
Ilustración 15. Factores ambientales para la determinación de Vulnerabilidad/Fragilidad . Fuente: Elaboración propia .....	65
Ilustración 16. Potencial de regeneración de la estación para la determinación de Vulnerabilidad/Fragilidad. Fuente: Elaboración propia .....	66
Ilustración 17. Índice de erosión real para la determinación de Vulnerabilidad/Fragilidad . Fuente: elaboración propia .....	67
Ilustración 18. Resultado de Vulnerabilidad/Fragilidad para el área de estudio. Fuente: Elaboración propia .	69
Ilustración 19. Resultado de Importancia de protección para el área de estudio. Fuente: Elaboración propia	70
Ilustración 20. Resultado de Zonas de actuación prioritaria en el área de estudio a nivel de pixel . Fuente: Elaboración propia.....	71
Ilustración 21. Resultado de Zonas de actuación prioritaria para el área de estudio a nivel de parcela . Fuente: Elaboración propia.....	72

## Resumen

---

Los incendios forestales constituyen a día de hoy la mayor perturbación en el ámbito forestal causando importantes pérdidas en valores ambientales, económicos así como cuantiosos daños personales y materiales.

El régimen de perturbaciones está cambiando en los últimos años originado por el aumento de biomasa en las zonas forestales así como la tendencia creciente en días con meteorología adversa generando incendios forestales de grandes proporciones, con velocidades de propagación extremas e intensidades que superan la capacidad de los sistemas de extinción.

Por tanto, es necesario orientar la gestión forestal así como las herramientas de planificación frente a incendios para que mitiguen los daños partiendo de la caracterización del contexto espaciotemporal y social en que se desarrollan pudiendo definir así su comportamiento. El problema de los incendios forestales trasciende al ámbito estrictamente ambiental y afecta a otros aspectos fundamentales de la sociedad como son la vida y la seguridad de las personas, las infraestructuras, los núcleos de población y el patrimonio histórico artístico.

Para disminuir las graves consecuencias sociales y económicas del problema, es preciso un enfoque integral de la protección contra incendios partiendo de la planificación y la zonificación del riesgo donde se incluyan tanto factores propiamente ambientales como factores socioeconómicos.

Dando respuesta a esta necesidad ingente desde el Gobierno de Aragón se propone la realización de una metodología sistemática, objetiva, estructurada y homogénea a nivel de zonas de comportamiento homólogo de incendios (zonas de meteoalerta) para la definición de zonas de riesgo de incendio a partir de zonas de actuación prioritaria o zonas de defensa prioritaria.

Se presenta el proceso de caracterización de zonas de defensa prioritaria a partir del análisis del conjunto de parámetros que permiten identificar los factores que intervienen en la definición de las áreas de defensa prioritaria: peligro potencial e importancia de protección.

El peligro potencial integra el peligro estadístico de incendios donde se analizan la frecuencia y la gravedad; un peligro estructural conformado por los parámetros de comportamiento del fuego (velocidad de propagación, intensidad de frente y fuego de copas) y finalmente los elementos de riesgo entendidos como elementos que por sus características intrínsecas potencialmente favorecen a la generación de incendios forestales (red de carreteras, interfaz agrícola-forestal, puntos de recreo, ermitas,...).

Por otra parte, la importancia de protección evalúa la calidad o el valor de los bienes así como la fragilidad y vulnerabilidad de los mismos tratados ambos desde el punto de vista sociocultural y desde el punto de vista medioambiental.

La integración de ambos parámetros permite definir la zonificación de riesgo de incendio en la comunidad autónoma de Aragón permitiendo así maximizar la utilización de la escasa dotación económica en medida de prevención y planificación de incendios forestales ya que permite priorizar aquellas zonas donde mayor es el riesgo.



## Introducción

### Los incendios forestales en Aragón

La comunidad autónoma de Aragón abarca una extensión de 4,7 millones de hectáreas de las cuales aproximadamente la mitad corresponde a superficie forestal (de estas un 33% a superficie arbolada datos según IFN3) comparado con datos del primer inventario forestal, la superficie arbolada ha aumentado en más de un 50% pese a ello la superficie de matorral supone una importante proporción en el tapiz vegetal además de aparecer como sotobosque en las masas arboladas debido a la dominancia del clima mediterráneo.

Junto a la importancia forestal de la comunidad es destacable el factor socioeconómico, pues la mayor parte de la población se concentra en las principales urbes y por contra se ha reducido la densidad de población en el ámbito rural lo que ha supuesto el abandono de los campos de cultivo y la reducción de los usos agropecuarios suponiendo un incremento de la superficie forestal favoreciendo así una propagación más agresiva de los incendios.

Analizando la base de datos generadas de reconstrucción de incendios forestales en el último decenio (Lázaro, 2009) observamos que la superficie aragonesa no se ve fuertemente castigada por los incendios forestales con un porcentaje inferior al 0,20% de la superficie total aunque aparecen periódicamente grandes incendios (en adelante GIF) como ocurrió en el año 2008 con un total de 8 GIF o en 2009 donde acontecieron 9 GIF.

A pesar de la importante superficie forestal con que cuenta Aragón y la variedad de ambientes forestales que aparecen, existen algunos factores que contribuyen a explicar lo anterior donde destaca de manera muy influyente la casuística de estos. Aragón es una de las comunidades donde mayor es el porcentaje de incendios forestales causados por rayo respecto a la Península Ibérica ocasionados estos en las numerosas tormentas secas que recorren la zona en la época estival (LaFragüeta, 2013)

En el contexto aragonés, los incendios forestales presentan una estacionalidad con dos máximos anuales, uno a final del invierno o principio de primavera (coincidente con quemas agrícolas en el medio rural) y otro puramente estival que se ve favorecido por la presencia de fenómenos tormentosos así como por la meteorología adversa donde las superficie afectada por Incendios Forestales está claramente aumentando en Aragón (Cardil et al 2013).

En cuanto a número de sucesos se aprecia una tendencia creciente siendo en su mayoría conatos (superficie inferior a 1 ha) aunque con el abandono de cultivos así como de los aprovechamientos tradicionales del monte, han propiciado la homogenización del paisaje que junto con la consolidación de superficies forestales continuas, han generado una acumulación de biomasa en los bosques aportando elevadas cargas de combustible disponible que junto a unas condiciones meteorológicas adversas hace pensar que la ocurrencia de incendios tienda a aumentar.

Cabe pensar que con el aumento de sucesos así como días de meteorología adversos con temperaturas elevadas y humedades bajas en los sistemas mediterráneos el fuego se va a convertir en el principal factor de modelización del paisaje donde el éxito en la gestión radicarán en la imbricación del fuego, bien sea controlado o bien con incendios en el entorno fomentando una gestión encaminada a aumentar la capacidad de respuesta del monte (Castellnou et. al, 2009) .

### Zonificación: Zonas de Meteoalerta

La reconstrucción y análisis de los incendios forestales del pasado son la principal fuente de datos que van a permitir de forma objetiva abordar la problemática de los incendios forestales donde en la actualidad los GIF sobrepasan a los sistemas de extinción más especializados y cuestionan las tareas de las administraciones a la hora de gestionar de forma eficaz la excesiva densidad y gran acumulación de combustible que albergan los montes.

La estadística de 40 años de incendios forestales ha permitido realizar la reconstrucción y tipificación de incendios históricos en territorios concretos de Aragón (Lázaro, 2009; Hernández, 2011) que junto con la clasificación sinóptica de AEMet, ha permitido la caracterización de “Incendios Tipo” en función del factor de propagación del fuego.

Los incendios forestales manifiestan en su propagación la influencia de un conjunto de factores como viento, topografía y dinámica atmosférica, si bien se pueden agrupar y establecer paralelismos muy claros en función del factor más dominante en cada caso.

El análisis e interpretación de los factores topográficos, climático-meteorológicos y de vegetación junto con la estadística y cartografía de zonas incendiadas permiten una cierta regionalización del fuego estableciendo 22 zonas homogéneas de comportamiento de fuego.

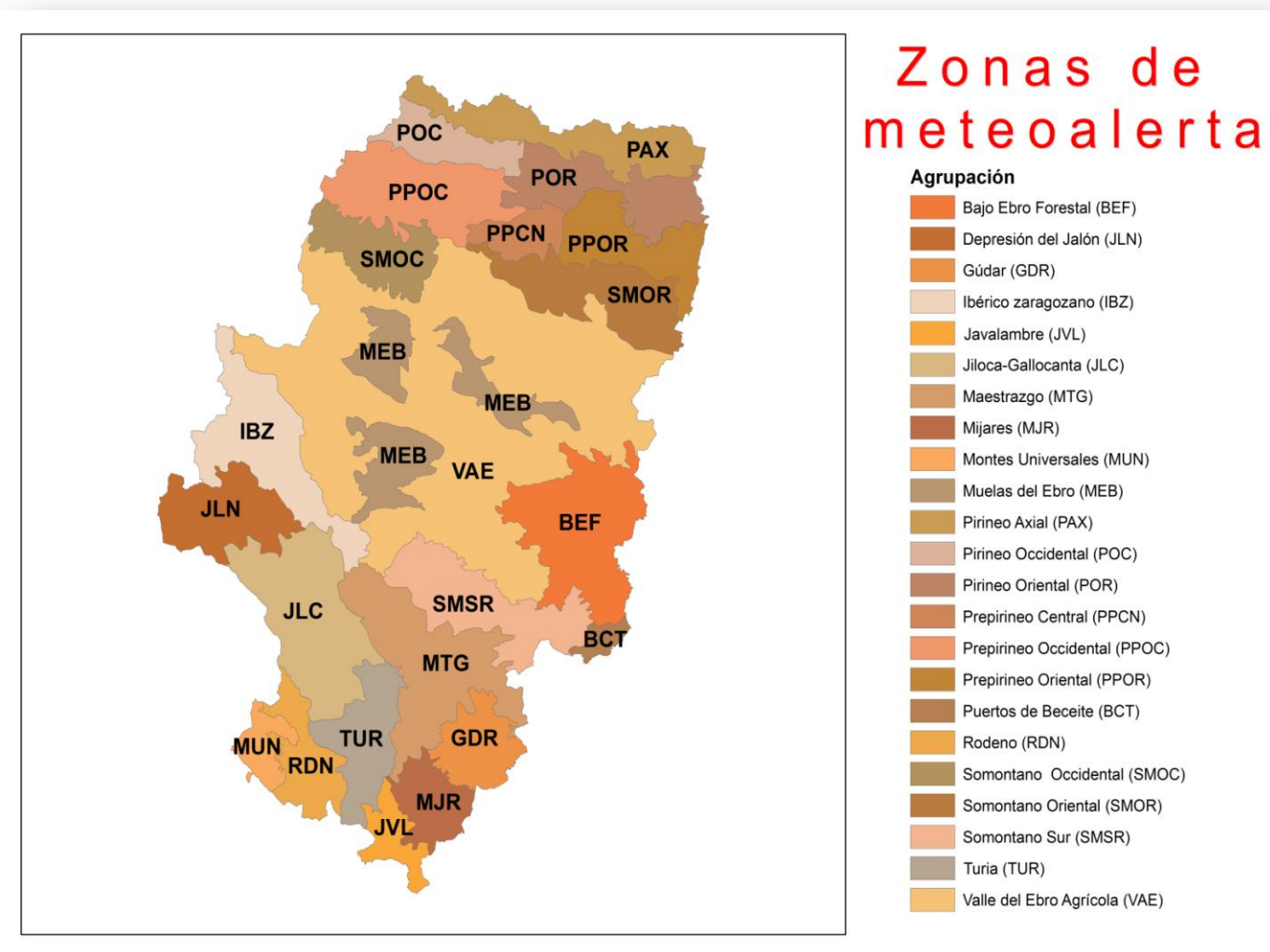


Ilustración 1 División de Aragón en zonas de meteoalerta

## Regulación de los incendios forestales: Carácter europeo, Nacional y Autonómico

La política forestal y por ente, la gestión de incendios forestales, cuenta con diversas normativas que regulan y desarrollan las competencias de la administración en materia de extinción, prevención y regeneración de las zonas afectadas por incendios.

De carácter europeo, la legislación ha ido encaminada a la protección de los bosques contra los incendios forestales, siendo varios los reglamentos europeos que han aparecido quedando derogados por el Reglamento(CE) nº 614/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de mayo, relativo al LIFE+

En lo que se refiere a España, los incendios forestales están regulados por la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes modificada parcialmente por la Ley 10/2006 de 28 de abril. Ley que deroga a la anterior Ley 81/1968, de 5 de diciembre, de Incendios Forestales, si bien mantiene en vigor el Reglamento De Incendios Forestales aprobado por el Decreto 3769/1072 siempre que no se oponga a la vigente ley.

Las competencias sobre incendios forestales están transferidas a las Comunidades Autónomas (en Aragón por el Real Decreto 1410/1984, de 8 de febrero) aunque el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente dispone de aeronaves de gran capacidad durante todo el año para cubrir las solicitudes de apoyo de las comunidades autónomas siendo reforzado el dispositivo con la contratación de otras aeronaves y brigadas helitransportadas de refuerzo (BRIF), además de unidades móviles de meteorología y transmisiones (UMMT) y aeronaves de comunicaciones y observación (ACO), que se distribuyen por todo el territorio nacional.

En Aragón, existe la ley 15/2006 de Montes de Aragón, que regula aspectos contemplados en la legislación básica, dedicando un título a la protección de montes y más concretamente, en lo que se refiere a incendios forestales, se determinan las competencias en materia de prevención y extinción, así como las referentes de restauración de zonas incendiadas.

En cuanto a la consideración del incendio como un asunto de protección civil, el Decreto 226/1995, de 17 de agosto, mediante el que se aprobó el PROCINFO (Plan Especial de Protección Civil para Emergencias por Incendios Forestales). La promulgación de importantes normas como la Ley 30/2002, de 17 de diciembre, de Protección Civil y Atención de Emergencias de Aragón, la Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de Montes de Aragón, o el propio Estatuto de Autonomía, así como la evolución y avance tanto de los medios técnicos como de las técnicas de extinción, aconsejan la modificación del Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Incendios Forestales (PROCINFO) haciéndose efectivo con el Decreto 118/2011, de 31 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el vigente Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Incendios Forestales.

El Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Incendios Forestales tiene por objeto concretar los mecanismos para una adecuada organización, coordinación e integración de los medios con la finalidad de hacer frente a las emergencias derivadas de incendios forestales en la Comunidad Autónoma, así como el procedimiento de actuación ante dichos incendios.

Entre las funciones básicas que desarrolla el PROCINFO están las de prever la estructura organizativa y los procedimientos para la intervención en las emergencias; definir los mecanismos y procedimientos de coordinación con el Plan Estatal de Protección Civil para Emergencias por Incendios Forestales, para garantizar su adecuada integración; establecer las épocas de peligro, relacionadas con el riesgo de incendios forestales, en función de las previsiones generales y de los diferentes parámetros locales que definen el riesgo mediante la zonificación del territorio en función del riesgo y las previsibles consecuencias de los incendios forestales delimitando áreas según posibles requerimientos de intervención y despliegue de medios.

En lo que a índole preventiva se refiere, se publica cada año conforme al mandato de la ley, una orden de prevención que regula exhaustivamente los períodos de peligro, así como las condiciones especiales de uso del fuego y otras medidas preventivas. La ley prevé así mismo, la declaración de zonas de alto riesgo en aquellos ámbitos con mayor incidencia y peligro en el origen y consolidación de los incendios, así como la consecuente aprobación de su plan de defensa.

## Antecedentes

Partiendo de la problemática que generan los incendios forestales en el medio natural, las Administraciones Públicas centran partidas presupuestarias a la aplicación de planes de actuación en materia preventiva permitiendo dotar a los espacios naturales de infraestructuras y recursos que posibiliten la disminución del

número de igniciones, o en caso que éstas se desarrollen la reducción de la severidad de los mismos y el aumento de la seguridad durante la extinción.

Históricamente se plantea la necesidad de combatir los incendios forestales con objeto de proteger la naturaleza evitando así daños y perjuicios derivados de los mismos, donde el pilar básico era la supresión de todos los incendios con actuaciones puntuales en aquellas zonas donde aparecían mayor número de igniciones, a medida que el problema de los incendios forestales se intensificó surge la necesidad de generar metodologías fundamentadas en la ordenación del espacio enfocadas a la defensa de incendios forestales (Rodríguez Silva, F. en Velez R, 2009) .

El conocimiento del territorio así como el mejor conocimiento de la ciencia del fuego, las herramientas informáticas basadas en los sistemas de información geográfica, la experiencia y mayor precisión en el análisis de la problemática permite definir los objetivos a contemplar en toda la planificación preventiva de tal modo que se puedan establecer los dispositivos optimizados para hacer más efectiva la lucha contra los incendios donde priorice la importancia de enfocar la defensa contra incendios basada en el conocimiento analítico del territorio y no en un crecimiento desproporcionado de los medios de extinción.

Desde la administración forestal, surge la necesidad de generar un documento científico-técnico para definir las actuaciones espaciotemporales de la defensa contra los incendios forestales es en 1988 cuando promovido por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, estableció el I Plan de Acciones Prioritarias contra los Incendios Forestales, dirigido a fomentar las acciones de protección bajo criterios de protección por Comarcas.

La ley estatal 43/2003, de Montes de 21 de noviembre, modificada por ley 10/2006, de 28 de abril, en su artículo 48.2 establece que “corresponde a las comunidades autónomas la declaración de zonas de alto riesgo y la aprobación de sus planes de defensa”. Además, en el artículo 48.4 dicta que “la normativa de las comunidades autónomas determinará las modalidades para la redacción de los planes de defensa y podrá declarar de interés general los trabajos incluidos en aquéllos, así como determinar, en cada caso, el carácter oneroso o gratuito de la ejecución subsidiaria por la Administración”

En Aragón, la ley 15/2006 de Montes de Aragón sienta las bases de la colaboración entre el Gobierno de Aragón y las Comarcas en tanto contempla la posibilidad de la asunción de la elaboración y aprobación de planes de prevención de incendios forestales así como la ejecución de los mismos por parte de comarcas y se concreta aquellas zonas en las que por su alto riesgo de incendio forestal requiere la necesidad de aprobar un plan de defensa contra los mismos.

Para dar respuesta a este marco legal, surgen la elaboración de diversos Planes Comarcales de prevención de incendios forestales en la comunidad autónoma de Aragón (Comarca Tarazona y Moncayo, comarca de Matarraña, Comarca de Cinco Villas.... )

El estudio de zonas homogéneas de comportamiento de fuego ha posibilitado observar que los límites administrativos a nivel de comarca no son un indicador óptimo para la realización de una planificación pues dentro de ésta existen zonas heterogéneas en cuanto a tipificación y comportamiento de fuego, por tanto se plantea adaptar a las zonas de meteoalerta e incendios tipo la planificación de actuaciones frente al GIF mas probable que afectará a una zona determinada.

El trabajo a nivel de zona de meteoalerta permitirá determinar en la escala de trabajo de planes de prevención de incendios una serie de directrices básicas para limitar el alcance de los GIF y reducir la vulnerabilidad del territorio, permitiendo definir Puntos estratégicos de Gestión pudiendo preparar oportunidades para la extinción del mismo así como la definición de áreas de fomento de gestión para reducir la capacidad de propagación del próximo GIF

Se toman como referente trabajos publicados en esta línea en Cataluña (Costa, P. et al., 2011), que tomando como punto de origen el incendio tipo, generar el incendio de diseño entendido éste como el incendio máximo de referencia en un macizo forestal y proponen criterios para argumentar y definir las medidas a implementar en las tareas de gestión y extinción del incendio.



## Objetivos

---

El objetivo principal de este trabajo final de máster es la elaboración de una metodología sistemática, objetiva, estructurada y homogénea a nivel de zonas de meteoalerta para la definición de zonas de riesgo de incendio a partir de zonas de actuación prioritaria o zonas de defensa prioritaria.

Se tratar de un documento que sirva como instrumento de referencia en la planificación del territorio en un ámbito homogéneo de actuación como son las zonas de meteoalerta permitiendo proponer medidas de actuación preventivas para la zona analizada pudiéndose incorporar dicha información a trabajos ya existentes de planificación forestal, se elabora a nivel operativo en la muela de Zuera englobada dentro de la zona de meteoalerta "Muelas del Ebro" (MEB).

Para lograr el objetivo principal se han planteado una serie de objetivos parciales que conforman la metodología aplicada:

1. Elaboración de una metodología para definir modelos de combustible forestal. Partiendo de la ejecución de dos metodologías diferentes una de Mapa Forestal Español, SIGPAC y catastro frente a otra metodología elaborada a partir de tecnología LiDAR, selección de la que mejores resultados ofrece.
2. Estudio de las posibilidades que ofrece la simulación de incendios para la planificación de actuaciones referentes a la lucha contra incendios forestales.
3. Estudio climático en función de las tipologías de fuego y patrones de propagación
4. Planificación de unidades de actuación en materia de prevención de incendios forestales.





## Materiales y métodos

### Zona de Estudio

El área objeto de estudio abarca una superficie de 69.896ha quedando englobada principalmente en los términos municipales de Zaragoza, Zuera y Castejón de Valdejasa, además en los de Tauste, Torres de Berrellén, Villanueva de Gállego, Sierra de Luna, Remolinos, Gurrea de Gallego, Las Pedrosas, Pradilla de Ebro, Ejea de los Caballeros y Luna todos ellos perteneciente a la provincia de Zaragoza a excepción del municipio de Gurrea de Gállego.

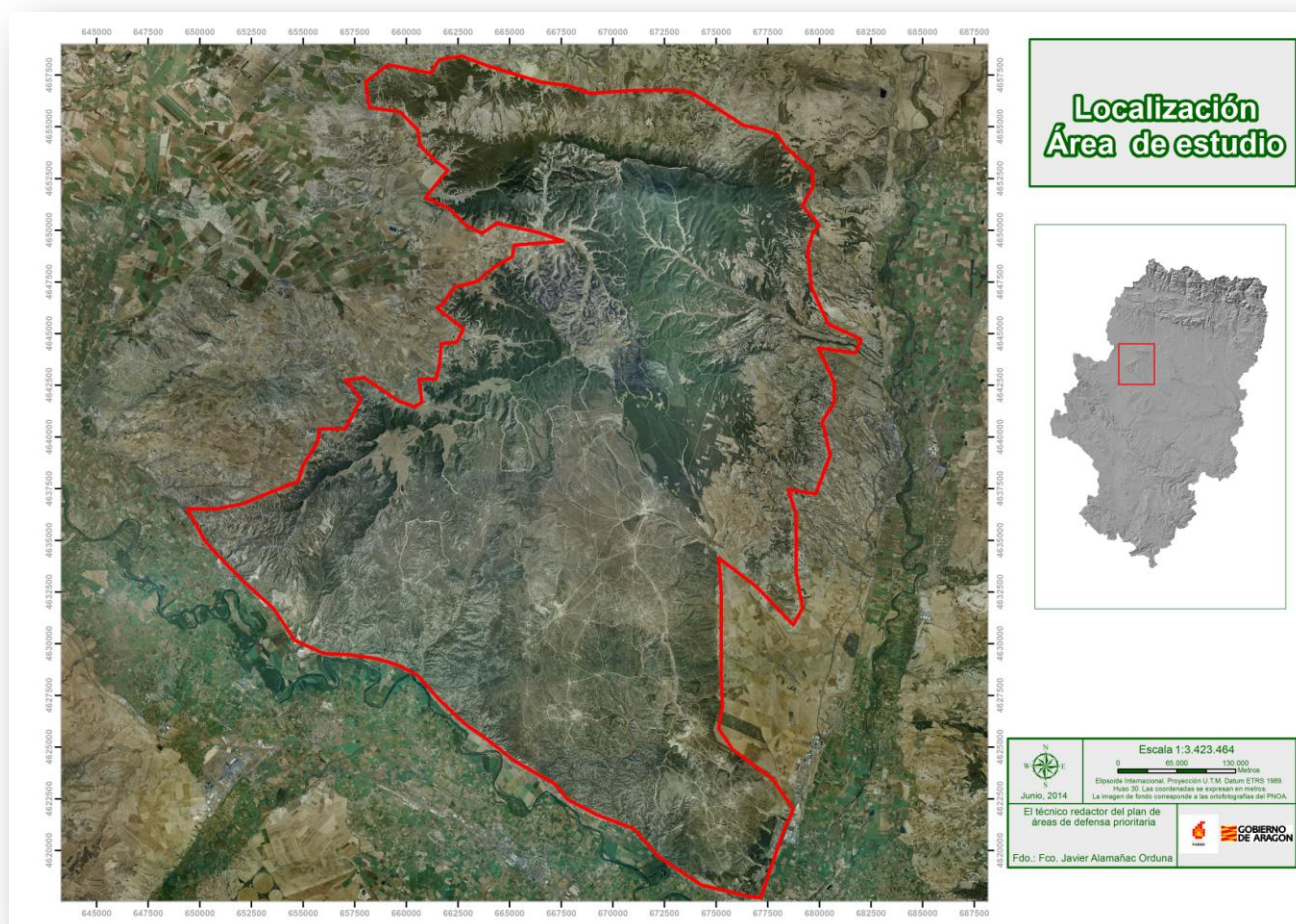


Ilustración 2 Localización del área objeto de estudio respecto a la comunidad autónoma de Aragón

El motivo fundamental por el que se ha seleccionado la muela de Zuera para encuadrar este estudio es porque se dispone de abundante información con notable superficie calcinada siguiendo unos patrones de incendios perfectamente definidos y estudiados así como un número importante de sucesos, también cuenta con numerosos estudios de temática diversa realizados en la superficie destacando aquellos relacionados con la recurrencia de incendios forestales y las posibles adaptaciones de la vegetación existente al efecto del fuego, determinación de principales parámetros dasométricos de la vegetación.

### Descripción del medio natural

#### Fisiografía

La zona de estudio posee un relieve elevado con dirección NE-SO, esta alineación presenta una pendiente general que desciende hacia el sur, con altitudes superiores a los 700 metros en la zona norte y próximas a 600 en el sur, alcanzando sus cotas más altas en los vértices de Lomaza (748 metros) y San Esteban (747



metros). Estos montes conforman una divisoria de aguas entre las cuencas del Gállego al este, y el Arba, al oeste. Como consecuencia, a partir de los relieves centrales se originan sendas redes de drenaje con direcciones S y SE y O respectivamente. En cualquier caso, no presenta cursos de agua importante siendo estos predominantemente estacionales y en los que son frecuentes los desbordamientos con ocasión de lluvias intensas (Ramírez, 1995)

## Geología y edafología

A partir del Mioceno medio se abrió la cuenca endorreica del Ebro hacia el Mediterráneo, estructurándose el drenaje que va a ser fundamental de la cuenca y comenzando la erosión alterada con otras épocas de sedimentación que dieron la morfología definitiva, formándose relieves conocidos como muelas y caracterizados por ser estructuras no erosionadas debido a la protección de un estrato superior más duro (en general calizas) que los subyace a los que protege.

De acuerdo con el Mapa Geológico de España, el área de estudio presenta en su mayor parte terrenos pertenecientes al Mioceno Aragoniense, aunque también aparecen terrenos del Cuaternario. En la mitad norte se encuentran diferentes tipos de roca variando según se desciende en altitud conformando el siguiente patrón: alternancia de calizas y margas en las zonas altas, margas grises y ocreas, calizas tractivas y margas, arcillas rojas, yeso tabulas con sales y finalmente, en la zona de valles de cultivo aparecen gravas, arenas, limos y arcillas de carácter aluvial.

En la mitad sur se encuentran fundamentalmente terrenos del Pleistoceno formados por cantos calcáreos, arenas, limos, arcillas y yesos.

Según el Mapa de Suelos de España (Guerra et al., 1996) la zona de estudio está formada por los siguientes tipos de suelos:

1. Suelos con horizontes de humus poco desarrollados sobre materiales calizos, suelo pardo calizo sobre materiales no consolidados con asociaciones pedregosas.
2. Suelos rendziniiformes sobre margas y yesos
3. Suelos con horizonte de humus poco desarrollados sobre materiales calizos

## Clima y vegetación potencial

A partir del Atlas Fitoclimático de Allué el área objeto de estudio se encuentra dividida en tres subregiones diferentes: en la zona mitad sur se encuentran las subregiones IV<sub>1</sub> mientras que en la zona norte aparece la subregión IV<sub>3</sub> correspondientes a un clima mediterráneo genuino con atributos infra-arbóreos estépico y con clima más seco el segundo.

De acuerdo con la información del Mapa Geológico de España, el clima dominante en la región es el mediterráneo templado a seco, semiárido. A partir del mapa climático de Aragón se obtiene una temperatura media comprendida entre 13° y 14° con una máxima acaecida en verano de 41°C y una mínima próxima a menos 12°C apareciendo unas variaciones térmicas destacables entre invierno y verano. En lo que se refiere a la pluviometría, la media fue de 500 mm/año con dos períodos de precipitaciones marcados en otoño e invierno pudiendo causar transporte de sedimentos por la orografía del territorio.

Según la serie de vegetación de Rivas-Martínez, la mayor parte de la zona norte pertenece a la Serie mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmentum*) mientras que la parte sur se enmarca dentro de la Serie mesomediterránea-murciano-almeriense, guadiciano-bacense, setabense, valenciano-tarranense y aragonesa semiárida de *Quercus coccifera* o coscoja (*Rhamno lycioidi-Querceto coccifera sigmentum*)

Teniendo en cuenta las series de regresión de Luis Ceballos, de 1941 (Citado en Montero de Burgos et al., 1981) el nivel máximo de madures que pueda alcanzarse en esta zona corresponde con la etapa de pinares, sinedo en la Serie de la encina sobre terreno calizo masas naturales de *Pinus halepensis* acompañado de matorral invasor heliófilo (*Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis* y *Quercus coccifera*) y matorral colonizador del género de *Cistus*.

Por otra parte, la zona se encuentra dentro de la región natural II del mapa de Gandullo et al. (1972) para *Pinus halepensis* correspondiéndose con la región de Procedencia Monegros-Depresión del Ebro representando un elevado porcentaje de las masas de dicha procedencia.

## Zonas de actuación prioritaria

Perfeccionar los sistemas de extinción, detección y restauración de incendios radican en conocer los factores que intervienen en cada uno ellos para garantizar el éxito de los mismos teniendo como base todos ellos la planificación y prevención por tanto es necesario incluir su importancia a la hora de priorizar las actuaciones a realizar.

Realizar un análisis de los principales parámetros que intervienen en cada una de las acciones permite determinar las zonas prioritarias donde potenciar las escasa inversión económica actual siempre desde el punto de vista de la planificación y prevención de incendios forestales.

Uno de los objetivos que se persigue con esta metodología es que sea homogénea para todas las zonas de meteoalerta pudiendo así ocupar la totalidad de Aragón con unos mismos criterios lo que le otorga un carácter global con el objetivo de simplificar la toma de decisiones y la determinación de prioridades de defensa frente a incendios forestales.

La metodología planteada parte de los apartados que tradicionalmente se han empleado para la definición de Zonas de Alto Riesgo de Incendios (ZAR) junto con la metodología empleada en los Planes Comarcales realizados en Aragón complementándolas con aspectos habitualmente poco empleados como la importancia de protección de determinadas zonas en favor de su valor o fragilidad socioeconómica y ambiental.

Se busca la utilización de las técnicas más novedosas hoy en día para los cálculos así como aquellos parámetros que partiendo de la ciencia y el conocimiento modelasen la realidad con un sentido físico haciendo que se refuerce la objetividad y fiabilidad de la metodología planteada.

A continuación se muestran el esquema seguido para la realización de la zonificación de las áreas de defensa prioritaria.

1. Peligrosidad potencial
  - Peligro estadístico de incendios
  - Peligro estructural
  - Elementos de riesgo
2. Importancia de protección
  - Calidad/Valor
  - Vulnerabilidad/ Fragilidad

## 1. Peligrosidad potencial

El riesgo potencial de incendios integra las características representadas por el peligro estadístico de incendios donde se analizan la frecuencia, la gravedad; un peligro estructural conformado por los parámetros de comportamiento del fuego (velocidad de propagación, intensidad de frente, longitud de llama y fuego de copas) y finalmente los elementos de riesgo analizados entendidos estos como elementos que potencialmente favorezca a la generación de incendios forestales.

A continuación se desarrollan cada uno de los parámetros que conforman el índice de peligrosidad potencial.

### 1.1 Peligro estadístico de incendios

La Estadística de Incendios Forestales es una herramienta importante en la planificación de la lucha contra incendios ya que permite mantener una base de datos, constituyendo en si misma una herramienta básica e imprescindible para la planificación, tanto en prevención como en extinción de incendios forestales.

La base de datos de la estadística general de incendios (EGIF) se encarga de recoger la información del parte de incendio forestal, documento oficial elaborado por personal de la administración en las diferentes comunidades autónomas centralizado en el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) y que contiene las características principales del incendio en cuanto a localización, día y hora de detección, lugar y medio de detección, causas, condiciones de peligro, medios y técnicas utilizados en la extinción, superficie afectada y otros datos de interés.

Los incendios no son constantes ni en el tiempo ni en el espacio, es por esta razón que el estudio del régimen de incendios se centra en la caracterización de la perturbación ocasionada por la ignición en un espacio determinado a lo largo de un periodo de tiempo definido (Agee, 1993), partiendo de esta hipótesis, el peligro estadístico va a venir determinado por la frecuencia con que se producen los incendios en los distintos medios forestales así como la gravedad final de dichos incendios.

Se establece como unidad de actuación la superficie total de estudio obteniéndose un único índice para la totalidad de la muela por tratarse de una superficie homogénea en cuanto a comportamiento y régimen de incendios.

Se analiza el período de tiempo comprendido entre el 2002 al 2012 pese a contar con una estadística con mayor número de años ya que a partir del año 2002 la base de datos del EGIF cuenta con los puntos de inicio, es decir, presentan una coordenada X e Y de cada uno de los incendios acaecidos lo que permite georreferenciar los mismos pudiendo seleccionar aquellos sucesos con punto de inicio situado en el interior de la zona de estudio, por otra parte el límite superior (año 2012) ha sido seleccionado por tratarse del último año con estadística oficial en la base del EGIF.

Posteriormente, se evalúan los índices en el período de tiempo de los últimos 40 años teniendo en cuenta la totalidad de incendios históricos con superficie mayor a 50 ha (Lázaro, 2008) pudiendo comparar los datos evaluados en el presente estudio con un horizonte temporal mayor.

## Frecuencia

Se define el índice de frecuencia como el cociente entre el total de incendios producidos a lo largo de una serie histórica de años según la siguiente fórmula.

$$F_{\text{incendio}} = \frac{\frac{1}{a} \sum_1^a n_{\text{incendio}}}{\text{Total superficie forestal}} * 10.000 \text{ ha}_{\text{forestales}}$$

Donde "a" es el número de años de la serie utilizada y "n<sub>incendios</sub>" el número de incendios acaecidos en ese año.

Se pretende que pueda ser comparable con otros planes comarcales o con otras zonas de meteoalerta, por eso se realiza el cálculo para superficies homogéneas siendo estas de 10.000 hectáreas forestales. En este apartado se opta por incluir la totalidad de sucesos (incendios y conatos) asociados a la superficie de estudio independientemente de las causas que originaron los mismos.

Los resultados obtenidos se han reclasificados en función del análisis geoestadístico realizado para la comunidad autónoma de Aragón en la elaboración del PROCINFO. Dicha clasificación es la que se muestra a continuación:

Tabla 1 Clasificación de índice de Frecuencia Fuente: Metodología Plan Comarcal

Valoración	Frecuencia	Codificación
Bajo	<0,2743	1
Moderado-Alto	0,2744-0,6581	2
Grave-Extremo	>0,6582	3

## Gravedad

En este caso, se define el índice de gravedad como el porcentaje de superficie quemada respecto al total de número de incendios en el período de tiempo evaluado, se realiza una ponderación en función de los tipos de superficie obtenidas de la base de datos EGIF dando mayor relevancia a la superficie forestal frente a la no forestal y a su vez, dentro de la superficie forestal, a la zona arbolada de la no arbolada.

$$GV = \frac{1}{\text{Número años}} * \frac{(\text{Sup. No forestal} + \text{Sup. Forestal no arb.} * 1.25 + \text{Sup. Forestal arb.} * 1.5)}{\text{Superficie total}} * 100$$

Los resultados obtenidos se han reclasificados en función del análisis geoestadístico realizado para la comunidad autónoma de Aragón en la elaboración del PROCINFO

Tabla 2 Clasificación de índice de Gravedad Fuente: Metodología Plan Comarcal

Valoración	Gravedad	Codificación
Bajo	<0,25	1
Moderado-Alto	0,25-0,8860	2
Grave-Extremo	>0,8861	3

## Peligro estadístico integrado

Consistente en la superposición de índices generados obtenido el peligro estadístico integrado como el sumatorio de ambos índices, obteniendo la siguiente codificación de índice de peligro integrado.

Tabla 3 Clasificación de peligro estadístico integrado Fuente: Metodología Plan Comarcal

Valor	Clasificación	Codificación
2-3	Riesgo bajo	1
4	Moderado-alto	2
5-6	Grave-extremo	3

## 1.2 Peligro estructural simulado

El riesgo estructural se determina en función de las características intrínsecas del territorio (orografía, condiciones del combustible y climatología) que favorecen la ignición y contribuyen a la propagación del fuego forestal evaluado mediante variables frecuentes en la lucha contra incendios forestales (longitud de llama, velocidad de propagación, intensidad lineal de frente y actividad de fuego de copas) obtenidas mediante simulación con el software WildFire Analyst (Tecnosylva), considerando las hipótesis meteorológicas más frecuentes en la zona partir del análisis de los incendios históricos acaecidos.

### Fases de elaboración

Para determinar el peligro estructural simulado se realiza en 4 fases:

1. Determinación y elección del modelo de combustible mediante la elaboración de un mapa de combustibles partiendo de dos metodologías diferentes:
  - Partiendo de intersección entre Mapa Forestal Español, SigPac y mapa catastral.
  - Mediante tecnología LiDAR
2. Estudio de histórico de incendios para la determinación de características meteorológicas principales y el patrón de propagación. (modulo y dirección del viento, temperatura y humedad).
3. Obtención de resto de datos requeridos para realizar la simulación a partir del software WildFire Analyst como son elevaciones, pendientes y orientaciones, Fracción de cabida cubierta, altura total, altura primera rama viva, altura de copa y densidad aparente de copas.
4. Realización de simulaciones para determinar el peligro estructural, entendido como la facilidad intrínseca que tiene un sistema forestal de propagar el fuego, junto con la dificultad que entraña su control sin tener en cuenta las actuaciones de combate.

## **Fase I. Metodología para determinación de modelos de combustible**

Para llevar a cabo esta primera fase metodológica consistente en la definición del modelo de combustible se parte de la cobertura oficial de modelos de combustibles del Gobierno de Aragón y se observa una pobre definición de los mismos por lo que es necesario una mejora de éstos.

En un primer momento desde la dirección del proyecto se propone abordar la ejecución de dicha mejora partiendo de la intersección de varias capas con información básica de la estructura de vegetación así como de los elementos no combustibles georreferenciadas.

Se elabora un primer intersecado de capas cuyo origen son el Mapa Forestal Español (MFE) y la capa de Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrarias(SigPac), posteriormente se realiza una reclasificación en función del grupo al que pertenecen priorizando el origen del mismo, es decir, en el caso de parcelas agrícolas o cultivos prioriza SigPac mientras que en el caso de monte prioriza MFE.

Se valida a partir de la ortoimagen correspondiente al vuelo del PNOA 2012 y se observa que las zonas no combustibles no quedan definidas correctamente, para ello se plantea una nueva intersección con la capa generada del cruce MFE-SigPac y capa catastral definiendo así un modelo de combustible mejorando al existente.

Posteriormente, se contempla la posibilidad de utilizar la tecnología LiDAR para la generación de modelos de combustible de alta definición a partir de datos procedentes del vuelo del PNOA (ANEXO 1)..

Para ello se ejecuta el procesado de las nubes de puntos realizando previamente una corrección de los mismos para evitar datos anómalos y un análisis de los parámetros necesarios para definir los modelos de combustible utilizando como modelos base los de Prometheus por utilizar éstos la altura de la vegetación y Fracción de Cabida Cubierta, parámetros que la tecnología LiDAR aporta con precisión.

Se decide utilizar la muela de Zuera como zona de prueba de dicha tecnología permitiendo así realizar un estudio comparativo de que metodología de las planteadas nos ofrecía mejores resultados pudiendo extrapolarse a otras superficies de la comunidad autónoma.(ANEXO 2)

## **Fase II. Estudio de histórico de incendios para la determinación de características meteorológicas principales y el patrón de propagación**

En este apartado se realiza un estudio detallado de los escenario meteorológicos de incendios forestales y sus tipologías de fuego según los patrones de propagación para la zona de meteoalerta muela del Ebro-Zuera (ANEXO 9).

En el que se puede concluir que existen dos grandes patrones de propagación, especialmente en lo referente al eje o dirección de propagación y tipología de incendio. Por un lado tendríamos incendios que propagan en el eje SE-NW, y por otro, aquellos que lo hacen en sentido contrario, es decir NW-SE.

Tabla 4 Características meteorológicas principales en zona de estudio según incendios históricos. Fuente: Elaboración Propia

Patrón propagación	Componente prioritaria	Tipo viento	Temperatura	Humedad
SE-NW	150°-330°	<i>Bochorno</i> con intensidad variable aunque no intenso que superan de media los 20 km/h en un 6,41% de las ocasiones y en un 1,05% los 30km/h. Influenciado con fenómeno convectivo	Elevada o muy elevada	Baja o muy baja. Variable en función de la procedencia de la masa de aire y humedad en altura.
NW-SE	300°-120°	<i>Cierzo</i> , donde en un 22,12% de las ocasiones superan de media los 20 km/h y en un 7,34% los 30km/h	Heterogéneas según la variante de la situación de oeste o de onda larga de noroeste	Heterogéneas según la variante de la situación de oeste o de onda larga de noroeste

### Fase III. Obtención de datos requeridos para realizar la simulación

Los datos requeridos por el software Wild Fire Analyst son los siguientes:

Tabla 5 Datos requeridos por WildFire Analyst para realización de simulaciones. Fuente: Elaboración propia

Input de entrada	Obtención de datos
Elevaciones Pendiente Orientaciones	Extraídas del MDE (modelo digital de elevaciones) generados a partir de datos LiDAR con una resolución espacial de 5 metros.
Modelos de combustible	Fase I de esta metodología
FCC Altura total Altura primera rama viva Altura de copas Densidad aparente de copas	Partiendo de las datos LiDAR y la posterior validación en campo mediante la realización de muestreos así como de la información aportada por el Tercer Inventario Forestal Nacional (IFN3).

Para los **parámetros orográficos** (elevaciones, pendiente y orientaciones) se ha realizado a partir del MDE normalizado generado con la metodología LiDAR, una vez obtenido éste se ha utilizado el software de ArcGIS para determinar los inputs de entrada utilizando la metodología SIG, con la herramienta Spatial Analysis (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface> Slope) en el caso de la pendiente y en el caso de orientaciones (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface> Aspect).

La **FCC** es un parámetro obtenido directamente de los datos LiDAR, indicar que la FCC corresponde al porcentaje de primeros retornos a una altura determinada. La altura de la vegetación se ha estimado como la altura del percentil 90, las alturas máximas de la vegetación medidas con LiDAR acostumbran a ser inferiores a las alturas reales esto es debido a la baja probabilidad de que un punto lidar coincida con el punto más alto de la copa del árbol (Coromines et al.,2005).

De la relación existente entre FCC y altura se realiza una zonificación de la zona arbolada que, es decir aquellas que presentan una altura mayor a 4 metros, permitiendo realizar así una aproximación de la densidad aparente de copas, factor a tener en cuenta para la realización del fuego de copas.

Analizando ambos histogramas se realiza la siguiente subdivisión, manteniendo como criterio que entre clases diamétricas no exista una amplitud de frecuencia superior al 50% en la FCC y no más de 4 metros en la altura.

**Tabla 6 Modelo de combustible de porte arbóreo -+a partir de la altura (h) y fracción de cabida cubierta (FCC).**  
Fuente: Elaboración propia

altura	Modelos simulación porte arbóreo		
>9	3	6	9
6-9	2	5	8
4- 6	1	4	7
FCC	0-50	50-80	>80

A continuación se presentan las características de cada uno de los modelos generados de porte arbóreo, todos los datos han sido seleccionados de cada una de las parcelas existentes en los diferentes modelos a partir de los datos de IFN3.

**Tabla 7 Características de los modelos de porte arbóreo.** Fuente: Elaboración propia

modelo	N		DG		HM		AB	
	Media	mediana	Media	mediana	Media	mediana	Media	mediana
1	450,35	413,80	14,10	11,55	4,44	4,44	7,25	7,14
2	369,59	334,23	18,13	19,85	6,84	6,84	7,97	8,24
3	145,01	145,01	29,52	29,52	15,25	15,25	9,93	9,93
4	403,92	314,77	15,28	15,87	4,94	4,96	5,84	5,94
5	460,37	424,41	19,62	19,21	7,13	7,13	11,15	12,59
6	295,28	198,06	24,83	24,99	9,02	8,98	11,96	10,33
7	597,72	471,50	16,10	16,08	5,73	5,73	10,44	7,48
8	561,06	318,31	19,10	18,89	7,08	7,06	11,94	11,20
9	854,09	721,50	20,09	17,98	9,06	9,15	21,73	18,12



En cuanto a la **altura total**, se realiza a nivel de modelo, utilizando la mediana de la altura dominante, para determinar la altura de la primera rama viva, se obtiene a partir de la información aportada por el IFN3 así como de las parcelas muestreadas en campo para la validación de los modelos de combustible.

Por último, la **densidad aparente de copas**(kg/m<sup>3</sup>) se calcula a nivel de modelo partiendo de la publicación de Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> para los bosques españoles (Ruiz-Peinado et al.,2011 ) se obtiene la biomasa de ramas y ramillas inferiores a 2 centímetros a nivel de pie, estimada en función de la siguiente fórmula.

$$Biomasa_{Ramas < 2cm} = 6.197 + 0.00932 * (dm_{cm})^2 * h_m - 0.0686 * h_m * d_{cm}$$

Donde "d<sub>cm</sub>" es el diámetro obtenido este en centímetros y "h<sub>m</sub>" es la altura dominante en metros

Por último, la densidad aparente de copas(Kg/m<sup>3</sup>) se refiere a una hectárea según la siguiente expresión:

$$Densidad\ aparente\ copas = \frac{Número\ pies/ha * Biomasa\ ramas\ ramillas(Kg/pies)}{(H_{total} - H_{primeraviva}) * 10.000}$$

La **humedad del combustible muerto** y **humedad del material vivo leñoso** se obtienen a partir de los datos de humedad y temperatura tomados de la empresa Meteorológica para la zona de meteoalerta MEB ajustados para la situación más desfavorable tanto del histórico de incendios como durante un verano malo para 1 hora de retardo, 10 horas de retardo y 100 horas de retardo obteniéndose posteriormente la humedad del combustible muerto.

Se realiza una diferenciación para los dos patrones de propagación analizados, SE-NW que se caracteriza por propagación con bochorno donde la temperatura es mayor y la humedad relativa ambiental menor y NW-SE con temperaturas y humedad mayores.

La empresa toma los valores de mayor temperatura/menor humedad a las 17:00 mientras que los valores de mayor humedad/menor temperatura se toman a las 07:00, a partir de estos parámetros podemos hacer una interpolación y calcular para cada hora la humedad existente en los diferentes combustibles del fino muerto y vivo.

Para ello se ha utilizado la calculadora de combustibles del programa Nexus que permite estimar la humedad del combustible muerto para su uso en la predicción del comportamiento del fuego utilizando como parámetros de entrada la temperatura máxima y la humedad relativa mínima para cada una de las situaciones.

1 hora de tiempo de retardo: Temperatura máxima y humedad relativa mínima de un día malo.

Tabla 8 Estimación humedad mediante programa Nexus para combustible de 1 hora. Fuente: Elaboración propia

Tiempo de retardo	Situación	Temperatura máxima	Humedad relativa mínima	Humedad combustible
1 hora	SE-NW	35	24	3
	NW-SE	30	33	5

10 horas de tiempo de retardo: Establecer las ganancias por horas mediante una interpolación utilizando el valor medio entre la Temperatura máxima y mínima, así como en la humedad relativa en la propagación de SE-NW. Por el contrario, para la propagación NW-SE se utiliza el promedio de la serie histórica.



Tabla 9 Estimación humedad mediante programa Nexus para combustible de 10 hora. Fuente: Elaboración propia

Tiempo de retardo	Situación	T. máxima	T. mínima	Hum. relativa máxima	Hum. relativa mínima	Media temperatura	Media Humedad	Humedad combustible
10 hora	SE-NW	35	20	65	24	27.5	44.5	6
	NW-SE	30	16	80	33	23	56.5	8

100 horas de tiempo de retardo: Promedio histórico de la serie tanto en temperatura y humedad relativa

Tabla 10 Estimación humedad mediante programa Nexus para combustible de 100 hora. Fuente: Elaboración propia

Tiempo de retardo	Situación	T. máxima	T. mínima	Hum. relativa máxima	Hum. relativa mínima	Media temperatura	Media Humedad	Humedad combustible
100 hora	SE-NW	30	16	80	33	23	56.5	8
	NW-SE	30	16	80	33	23	56.5	8

La **velocidad y dirección media del viento**, se han calculado a partir de los datos analizados en la fase II de esta metodología.

La **carga de combustible** (ANEXO 4) se determina en función de los valores determinados en función de la bibliografía existente así como de las características de estos reflejados en la siguiente tabla:

Tabla 11 Valores implementados de la carga de combustible para los modelos elaborados. Fuente: Elaboración propia

Tipo	Descripción	1h (tn/ha)	10h (tn/ha)	100h (tn/ha)	Vivo herbáceo (tn/ha)	Vivo leñoso (tn/ha)	Rvs1h muerto (1/cm)	Rvs herbáceo. (1/cm)	Rvs leñoso (1/cm)	Long. (m)	Hum. (%)
1	Pasto altura <0,3m	2,47	0	0	0	0	114,8	328,1	0	0,3	12
2	Pastizal-matorral altura entre 0,3 y 0,6 metros	1,2	1,46	0	0,9	2	65,6	59,1	59,1	0,457	15
3a	Estrato arbustivo entre 0,6 y 1,2 metros	2,3	5,7	3,1	2,4	5	65,6	328,1	65,6	0,762	30
3b	Estrato arbustivo entre 1,2 y 2 metros	2,3	4,7	1	1,4	5	65,6	328,1	49,2	1,372	15
4	Estrato matorral-arbóreo mediterráneo con alturas entre 2 y 4 metros	11,21	8,968	4,484	4,48	6,72	65,6	328,1	114,8	2,134	20
5a	Estrato arbolado con sotobosque de pasto baja altura, restos y acículas	1,35	1,1	0,5	0,5	1	65,6	59,1	24,6	0,198	20
5b	Estrato arbolado con cobertura baja de matorral y continuidad horizontal puntual	2,5	2,02	0,3	0,8	2	57,4	0,0	24,6	0,000	20
6	Arbolado con sotobosque entre	4,04	2,7	2	1,12	1	57,4	52,5	52,5	0,914	30

	0,3 y 2 metros con FCC > 30% pero no presenta continuidad vertical										
<b>7</b>	Arbolado con continuidad total de combustible tanto horizontal como vertical	4,3	6,01	3,5	5,6	6,2	65,6	328,1	114,8	2,134	25
<b>Agrico.</b>	Terreno agrícola fundamentalmente cereal de secano	0,897	0	0	0,1	0	82,0	328,1	0	0,107	30
<b>Agrico. leñoso</b>	Terreno agrícola cultivado con especies leñosas: almendro, vid y olivo	0,2	0,1	0	0,1	0,1	24,6	328,1	0	0,015	0,1

Los valores reclasificados de longitud de llama, velocidad de propagación e intensidad de la línea de fuego y actividad de copas se toman de la bibliografía consultada (Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008)

Tabla 12 Codificación velocidad de propagación. Fuente: Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008

Definición	Codificación
Baja: menos de 0,5 m/min	1
Moderada: de 0,5 y 2 m/min	2
Alta: De 2 a 33 m/min	3
Extrema: más de 33 m/min	4

Tabla 13. Codificación intensidad de frente de llama. Fuente: Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008

Definición	Codificación
Baja: menos de 346 kW/m	1
Moderada: de 346 a 1730 kW/min	2
Alta: de 1730 a 3460 kW/m	3
Extrema: más de 3460 kW/m	4

Tabla 14. Codificación fuego de copas. Fuente: Andrews & Rothermel, 1982 y Grillo Delgado. F et al., 2008

Definición	Codificación
Fuego de superficie	1
Fuego condicionado	2
Fuego pasivo de copas	3
Fuego activo de copas	4

El riesgo estructural final resultará de la adición de los parámetros anteriormente descritos según los valores de sus códigos y que codificaremos en cinco rangos de valor (en función de una distribución de intervalos iguales) según la siguiente tabla:

Tabla 15 Codificación de valores del riesgo estructural para cada situación analizada. Fuente: Metodología Plan comarcal

Valor	Clasificación	Codificación
<6,4	Bajo	1
6,4 - 8,8	Moderado	2
8,9 - 11,2	Alto	3
11,3 - 13,6	Grave	4
>13,6	Extremo	5

## Fase IV. Realización de simulaciones

El software utilizado es Wildfire Analyst desarrollado por la empresa Tecnosylva, se trata de un simulador operacional de la propagación del fuego en el territorio basado en algoritmos de predicción como Rothermel que permite, como herramienta, acoplarse a arquitecturas y entornos GIS para su uso en aplicaciones de emergencias.

Presenta un algoritmo de proceso basado en el cálculo del modelo digital de terreno, cálculo de modelos de alta resolución del viento (HDWF), planimetría (hidrografía, redes de comunicaciones, líneas eléctricas, etc) y otros elementos que permiten realizar simulaciones con mayor realismo.

Para establecer el riesgo estructural, se realizan dos simulaciones definidas en función del estudio de incendios históricos por ser estos los patrones de propagación más veces repetidos en la muela de Zuera adaptando las condiciones climáticas y meteorológicas al entorno de estudio.

Una vez analizados y descritos los resultados derivados de la simulación de las dos situaciones definidas, se integrará en un único grid mediante la media aritmética de las mismas obteniendo un único valor de riesgo quedando clasificado según la tabla siguiente:

Tabla 16 Codificación valores del riesgo estructural medio. Fuente: Metodología Plan comarcal

Valor media	Clasificación	Codificación
1	Bajo	1
2	Moderado	2
3	Alto	3
4	Grave	4
5	Extremo	5

## 1.3 Elementos de riesgo

### Rayos

La elevada ocurrencia de incendios forestales ocasionados por rayo en Aragón (30% respecto del total) en relación a la media nacional (4%), la dificultad de gestión que entraña este tipo de emergencia -en base a la simultaneidad con que acostumbran a producirse las igniciones-, junto con su desencadenamiento a menudo en territorios remotos plantea la necesidad de incluir dichos sucesos como elementos de riesgo el estudio.

En lo que respecta a la superficie de estudio, de la totalidad de incendios acaecidos en el período de 2002-2012 se atribuye en un 44 % la causa de incendio como rayo, por tanto se plantea la elaboración de una cartografía de los incendios forestales ocasionados por actividad tormentosa, tomando como información básica la ocurrencia de los incendios forestales asociados a dicha causa en la Estadística General de los Incendios Forestales (EGIF) a través de la localización espacial de sus puntos de inicio mediante coordenadas UTM.

Se ha utilizado el análisis geoestadístico de los datos disponibles a nivel de cuadrícula ( $0,2 \times 0,2^\circ$  tanto en longitud como en latitud) de los rayos caídos en la Comunidad de Aragón, para cada uno de los años de los que se disponen datos y en el período de relevancia referente a ésta casuística de incendios, comprendido entre los meses de mayo a septiembre ambos incluidos.

Se realiza una media de densidad de rayos en el período analizado para cada uno de los años que se ha procedido a calcular con el valor medio de densidad (número de rayos/km<sup>2</sup> y año) a partir de los datos proporcionados por AEMET y tomando como referencia la metodología propuesta por Lafragüeta, C et al., 2009.

Tabla 17 Clasificación densidad de rayos. Fuente: Metodología Plan Comarcal

Valor	Clasificación	Codificación
<0,73	Bajo	1
0,73-0,85	Moderado	2
0,85-1,11	Alto	3
1,11-1,41	Muy alto	4
>1,41	Extremo	5

## Antropicos: Infraestructuras y áreas de riesgo

Se evalúa, para la totalidad de la superficie de estudio, el conjunto de infraestructuras que se tendrán en cuenta en el análisis de riesgo por presentar algún elemento que potencialmente favorezca a la generación de incendios forestales (Eastaugh, C et al., 2011).

Se entienden como elementos de riesgo aquella superficie o entidad geográfica que por sus características pueden favorecer la generación de incendios, se calcularán mediante herramientas de Spatial Analysis (ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Distance> Cost Distance) del software ArcGis que permiten la estimación de distancias a aplicar desde cada uno de los elementos de riesgo. El grid resultante muestran para cada pixel o celda el valor mínimo de distancia acumulado desde cada uno de los elementos de riesgo hasta el resto de puntos del área de estudio.

El riesgo de incendio de un pixel en el territorio es inversamente proporcional a la distancia a la que se encuentre de un determinado elemento de riesgo, es decir, presenta un mayor riesgo de incendio un pixel situado a 10 metros de una vía de tráfico rodado que uno que se encuentra a 100 metros. Por tanto, es necesario calcular la inversa de la distancia en cada pixel y ponderar dicho riesgo en función de la causalidad de incendios forestales.

A continuación se describen los elementos considerados de riesgo.

- Interfaz urbano-forestal: Entendida como aquellas zonas en la que el terreno forestal entra en contacto con zonas edificadas, caracterizado por las múltiples interacciones e intercambios que se desarrollan entre dos sistemas territoriales (social/urbano y natural/forestal) (Vince et al, 2005) que puede albergar personas.
- Vías disponibles al tráfico rodado: Se consideran elementos de riesgo TODAS las vías transitables (independientemente del número de vehículos que las utilicen así como del tipo de firme).

- Líneas eléctricas: Se estima ésta como un elemento de riesgo en si mismo ocupando la anchura total de su catenaria
- Infraestructuras socioeconómicas: entendidas como aquellas superficies que presentan una afluencia de visitantes bien sea de manera puntual (ermitas en el día de la romería) o variable a lo largo del tiempo. Se clasifican en este apartado las áreas recreativas, zonas de parking, miradores y puntos de interés turístico, bienes de interés cultural,...
- Zonas de caída de proyectiles y campos de tiro: Por estar incluido en el territorio analizado un campo de maniobras militares.
- Interfaz agrícola-forestal: por tratarse de una zona con cultivos de secano donde la recolección de las mismas puede plantear un potencial elevado como desencadenante de incendios forestales así como la utilización de quemas agrícolas para la eliminación de restos de poda.

Los valores que toman los distintos elementos de riesgo se derivan del análisis de causas obtenidos a partir de la base de datos del EGIF pudiendo ponderar cada uno de ellos en función del número de sucesos generados, para ello se eliminan del análisis aquellos sucesos en los que no se conoce la causa mientras que aquellos generados por causa natural se mantienen.

Finalmente la ecuación que agrupa todos los elementos de riesgo antrópico es el sumatorio de la inversa de la distancia de cada uno de los elementos ponderados en función del porcentaje de sucesos que ocasiona tal como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\text{Elemento antrópico} = \frac{\sum(\text{Inversa distancia} * \% \text{causas}) * 1000}{100}$$

En función de los valores totales obtenidos para el análisis de elementos de riesgo se ha elaborado la clasificación en base a los quintiles.

## 1.4 Peligro potencial integrado

Con el objetivo de tener un valor global de peligro potencial de incendio es necesario integrar todos los aspectos estudiados.

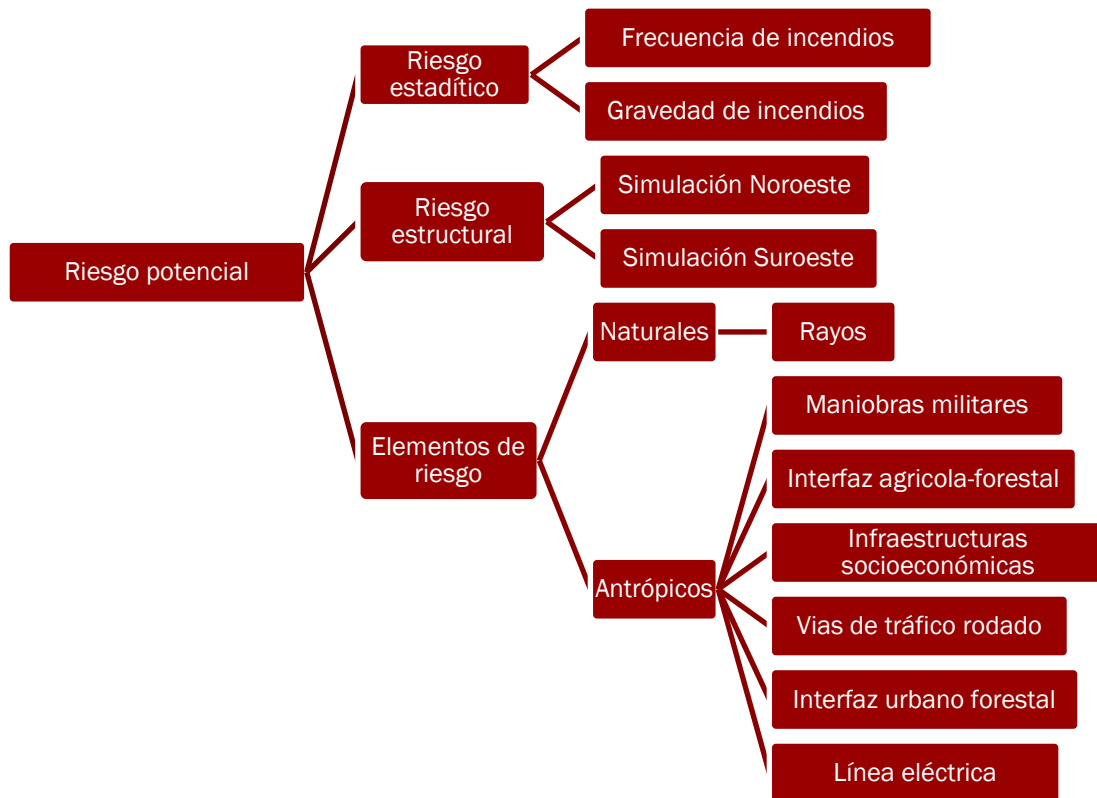


Ilustración 3 Diagrama resumen de elaboración de riesgo potencial. Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, el riesgo estadístico presenta un rango de valores entre 1 y 3 tanto mayor es cuanto mayor es el riesgo estadístico de incendios. Se ha definido un valor de riesgo estructural en base al comportamiento del fuego en cada punto del territorio en una escala de 1 a 5 que como en el caso anterior refleja un mayor riesgo cuanto mayor sea el valor asignado.

En cuanto a elementos de riesgo, es necesario agrupar cada uno de los aspectos analizados (carácter natural como de carácter antrópico) en un único grid con una escala de menor a mayor de 0 a 10. Para ello se pondera cada uno de los dos grupos en función de la causalidad de incendios obtenido a partir de la base de datos de EGIF tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$\text{Elementos de riesgo} = \frac{\% \text{ de causa} * \text{Elementos naturales}}{100} + \frac{\% \text{ de causa} * \text{Elementos antrópicos}}{100}$$

La suma ponderada de los aspectos citados, previo reescalado de sus valores de 0 a 10 determinará el riesgo potencial final según la siguiente expresión:

$$\text{Peligro potencial} = 0,1 \times \text{Riesgo estadístico} + 0,6 \times \text{Riesgo estructural} + 0,3 \times \text{Elemento Riesgo}$$

Los valores resultantes, se agrupan y codifican para ser posteriormente utilizados en la determinación final de las áreas prioritarias de defensa:

Tabla 18 Clasificación de peligro potencial de incendios

Valor	Clasificación	Codificación
<2	Bajo	1
2-2,6	Moderado	2
2,6-4	Alto	3
4-5,5	Muy Alto	4
>5,5	Extremo	5

## 2. Importancia de protección

Es necesario priorizar la importancia de protección de las infraestructuras contenidas en el interior del área de estudio del mismo modo que se hace cuando se genera un incendios tal como propone Molina et al. 2008 en su libro "Análisis del incendio forestal: Planificación de la extinción":

- La **seguridad de las personas**, debe ser lo primero y principal a proteger.
- Los **bienes materiales y animales**, se encuentran dentro de esta categoría las viviendas aisladas y otras infraestructuras de carácter cultural así como los animales domésticos de explotaciones ganaderas.
- El **medio ambiente**, aunque sea paradójico pues los dispositivos de extinción de incendios forestales se crean para la protección del medio ambiente, es la última dentro de la escala de prioridades donde se establecen también dos subgrupos: Espacios forestales protegidos bien sean parques nacionales, naturales o cualquier otra figura de protección existente y finalmente el resto de Vegetación.

Para ello se realiza un estudio de importancia de protección diferenciando en valor o calidad de los bienes así como la fragilidad y vulnerabilidad de los mismos tratados ambos desde el punto de vista sociocultural (corresponden con la seguridad de personas y bienes materiales) y desde el punto de vista medioambiental.

### 2.1 Calidad/Valor

#### Bienes socio-económico-culturales

A la hora de realizar una correcta zonificación según el riesgo juegan un papel importante los elementos que se engloban dentro del área de estudio ponderando su valor en función de la importancia económica y social que representan los elementos.

Se presenta la codificación de las infraestructuras donde el mayor nivel aparece, del mismo modo que a la hora de definir la planificación de la extinción, en los núcleos de población, interfaz urbano- forestal y zonas residenciales y posteriormente todas las infraestructuras a ser consideradas en este apartado.

Tabla 19 Codificación de las infraestructuras. Fuente: Elaboración propia

Definición	Valor codificación
Núcleos de población/Interfaz urbano forestal/Zonas residenciales	10
Bienes de interés cultural/Infraestructuras socioeconómicas	5
Otras infraestructuras	4
Carreteras Comarcal, Nacionales, Autovías, Autopistas	3
Aerogeneradores	3

Líneas eléctricas	3
Pista forestal, Camino, Senda	1
No infraestructura	0

Los valores codificados en la anterior tabla corresponden a la totalidad de las infraestructuras existentes en la zona de estudio, la no existencia de cartografía de algunos elementos definidos en la tabla anterior obliga a realizar una recopilación de información y digitalización de los mismos, como es el caso de los aerogeneradores.

Es necesario para incorporar dichos elementos a la zonificación de áreas de defensa prioritaria que los elementos presenten un tipo de geometría común para implementarlos en el cálculo final por lo que en aquellas infraestructuras donde no se encontraba en la geometría tipo polígono, ha sido necesario su conversión mediante digitalización sobre ortoimagen adaptando sus límites.

## Ambientales

### Productos forestales del territorio con valor de mercado.

Para llevar a cabo este apartado, se ha tenido en cuenta aquellos productos forestales con valor de mercado enfocados, partiendo de las características del territorio, al aprovechamiento maderero y energético.

La primera premisa es que únicamente será aprovechable para venta obteniendo un recurso económico todo aquello que considerado como arbolado, es decir, que presente más de 4 metros de altura. Para ello se utiliza el patrón generado en los modelos de copa (generados en riesgo estructural) donde se han reclasificado en función de la altura y la FCC asignando a cada modelo una altura y un diámetro medio procedentes dichos datos del Tercer Inventario Forestal Nacional y con ello predecir la biomasa total diferenciando entre biomasa de fuste y biomasa aérea a partir de las ecuaciones (Ruiz-Peinado et al., 2011).

En el caso de biomasa de fuste existe una ecuación propia para determinarla mientras que la biomasa forestal aérea es entendida como la suma de ramas gruesas, medias, finas y acículas.

Tabla 20 Evaluación de productos forestales con valor de mercado. Fuente: Elaboración propia a partir de Ruiz-Peinado et al., 2011

Tipo de Biomasa	Fórmula
<b>Biomasa de Fuste</b>	$W = 0,0139 * d^2 * h$
<b>Biomasa Aérea</b>	<p>Ramas gruesas: SI <math>d \leq 27,5</math> cm entonces <math>Z=0</math>; SI <math>d &gt; 27,5</math> cm entonces <math>Z=1</math></p> <p><math>W = [3,926 * (d - 27,5)] * Z</math></p> <p>Ramas medias: comprendidas entre 7 y 2 cm</p> <p><math>W = 4,257 + 0,00506 * d^2 * h - 0,0722 * d * h</math></p> <p>Ramas finas y ramillas: menores a 2 cm.</p> <p><math>W = 6,197 + 0,00932 * d^2 * h - 0,0686 * d * h</math></p>

Independientemente de la especie, la edad, calidad de estación u otros datos que no se pueden disponer en este estudio, se determina que el valor de mercado de la madera en origen y según su mercado (sierra o trituración) es 1,5 veces superior la madera en fuste que la cantidad de biomasa aérea quedando el parámetro " *Productos forestales del territorio con valor de mercado*" definido de la siguiente manera:

$$\text{Valor de mercado} = \frac{1,5 * \text{Biomasa fuste} + \text{Biomasa aérea}}{20}$$



A partir de los datos calculados, se establece una categorización para los factores con valor de mercado en cinco categorías

Tabla 21 Codificación de los valores de mercado de la Biomasa. Fuente: elaboración propia

Definición	Biomasa (tn MS/ha)	Valor de mercado
Valor Nulo	0-40	0-2
Valor Bajo	40-80	2-4
Valor Medio	80-120	4-6
Valor Alto	120-160	6-8
Valor Muy alto	>160	8-10

### Sin valor de mercado

#### Diversidad

Se pretende determinar la biodiversidad específica de cada una de las regiones forestales indicando en número de especies. Aunque se trata de un parámetro dinámico que varía en función del tiempo y el espacio dependiendo de las características ecológicas de una población.

Para ello se utiliza el índice de Shannon-Weaver (1949) con el que se permite evaluar el número de especies presentes (riqueza) y la cantidad relativa de cada una de ellas (abundancia).

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i * \ln p_i$$

Donde S= número de especies arboladas existentes en una tesela de carácter forestal

$p_i$ = proporción de la muestra total que pertenece a una especie i en función de su superficie de ocupación.

Todos los datos utilizados para la elaboración de este índice de diversidad proceden del Mapa Forestal Español donde únicamente están catalogadas las 3 especies principales arbóreas presentes en la parcela por lo que no existe información de las superficies no arboladas, es decir, matorral y pastizal.

Por tratarse de un valor adimensional proponer una clasificación resulta complejo de manera que cuanto mayor sea el índice de alcanzado mayor será la diversidad presente en el área de estudio, es decir una masa monoespecífica de una especie tendrá un valor de diversidad menor que una masa mixta. Por tanto, siguiendo la premisa anterior se ha realizado una reclasificación de valores de diversidad.

Tabla 22 Codificación de la diversidad de las masas forestales. Fuente: Metodología Plan Comarcal

Diversidad	Valor índice	Codificación
Sin diversidad	0	0
Diversidad muy baja	0,1-0,25	1
Diversidad Baja	0,25-0,5	2
Diversidad media	0,5-0,75	3
Diversidad alta	0,75-1	4
Diversidad muy alta	>1	5

## Nivel evolutivo

Se llama **sucesión ecológica** a la evolución que de manera natural se produce en un ecosistema por su propia dinámica interna donde su aspecto esencial es la sustitución a lo largo del tiempo de unas especies por otras.

Para definir el nivel evolutivo máximo en la zona, se utilizan las series de vegetación definidas por Rivas-Martínez permitiendo así obtener el grado de evolución máximo que se puede alcanzar en cada una de las formaciones.

Tabla 23. Codificación de series de vegetación definidas por Rivas- Martínez.

Definición	Nivel evolutivo	Codificación
Herbazal/pastizal	Bajo	1
Matorral-pastizal o matorral degradado	Medio	2
Matorral	Alto	3
Bosque	Climácico	4

Los factores que permiten deducir el estado actual de la vegetación así como su potencial futuro son principalmente la estructura de la masa, la especie principal o especies acompañantes en caso de existir y en general todas las variables que pueda modificar o favorecer su desarrollo como pueden ser variables litológicas ya que en determinados suelos el máximo potencial de vegetación puede estar en matorral degradado frente a otras que puede ser el bosque, temperamentos de especies mas umbrófilas corresponden a formaciones más evolucionadas.

Se utiliza como punto de inicio los modelos de combustible generados a partir de la metodología LiDAR junto con el Mapa Forestal Español por presentar una información a nivel de estructura adecuada (aportada por capa modelos de combustible LiDAR) así como las especies principales que lo forman (aportadas por MFE en campos "sp1", "sp2" y "sp3") permitiendo así conocer con mayor exactitud el grado de evolución conseguido por la masa.

Tabla 24. Caracterización del estado actual de la masa según modelo de combustible. Fuente: elaboración propia

Modelo de combustible	Estado Actual
1	1
2	2
3a	3
3b	3
4	3/4
5	3/4
6	3/4
7	3/4
Agrícola	0
Agrícola arbolado	0

El nivel óptimo de evolución puede presentar determinados condicionantes que atenuarán el nivel climácico pudiendo encontrarse éste en un nivel inferior. En el presente caso de estudio se ha estimado que existen dos condicionantes que atenúan dicho nivel evolutivo:

- En función de la litología: aquellas zonas que se encuentren sobre formaciones geológicas de Yesos y Sales con una pendiente igual o superior al 30% de pendiente presentan un nivel evolutivo máximo en nivel 3.
- En función de la Intensidad Bioclimática Libre (IBL): Todas aquellas zonas que presenten una IBL por debajo de 1,5 considera que no puede haber un bosque denso y habrá matorral o arbolado disperso como vegetación más evolucionada correspondiendo ésta a un nivel evolutivo medio-alto con nivel 3.

Analizando de forma conjunta la dinámica sucesional con el estado actual de las principales masas forestales se pretende categorizar el nivel evolutivo en cuatro clases, definiendo para cada una de ellas el máximo alcanzable y el estado óptimo o climax de la vegetación, de tal manera que una masa en un estado próximo al climax tenga también asignado un valor elevado de nivel de evolución.

Tabla 25 Codificación del Nivel evolutivo de los sistemas forestales. Fuente: elaboración propia

Significado	Codificación
<b>Evolución impedida por modificación del suelo</b>	0
<b>Nivel evolutivo bajo, posible evolucionar a nivel superior de manera natural</b>	1
<b>Nivel evolutivo medio. Estadio superior al mínimo con capacidad de evolucionar de manera natural</b>	2
<b>Nivel evolutivo medio- alto. Nivel inferior de estado óptimo que llega a ser el óptimo en determinadas formaciones</b>	3
<b>Nivel climácico. Máxima evolución que perdurará de manera natural si no existen perturbaciones.</b>	4

Para determinar el código de nivel evolutivo es necesario aplicar la siguiente expresión donde al nivel evolutivo máximo deseable (nivel 4) se le resta la diferencia entre el nivel climácico y el nivel actual de la vegetación obteniendo valores altos siempre y cuando la diferencia entre el estado actual y potencial sea mínima y viceversa.

$$\text{Índice nivel evolutivo} = 4 - (\text{Valor climácico} - \text{Valor actual})$$

Siendo el valor climácico el máximo nivel que es susceptible de alcanzar la vegetación de forma natural (3 o 4 según las zonas) y el valor actual con la misma escala en la que ahora se encuentran las formaciones vegetales.

Para integrar el índice nivel evolutivo en el mapa final es necesario, mediante el álgebra de mapas, multiplicar su valor por 3 a partir de la siguiente expresión

$$\text{Índice nivel evolutivo} = 3 * \text{Índice}_{\text{Nivel evolutivo}}$$

## Figuras de protección

Elemento a tener en cuenta en la definición de zonas de actuación prioritaria pues presentan por su naturaleza un alto valor de protección ya que si fueron creadas como tal contemplando un amplio abanico de elementos con importancia de protección como son biodiversidad, paisajes, especies, interés geológico,...y como tal, presentan una mayor valoración dentro de los ecosistemas forestales a los que pertenecen.

Tabla 26 Codificación de los espacios naturales protegidos. Fuente: Elaboración propia

Figura de protección	Valor
No existe figura de protección	0
Montes de Utilidad Pública	1
Hábitat de interés Comunitario	1
Espacio de Red Natura (LIC-ZEPA)	2
Hábitat de interés comunitario prioritario	2
Planes de ordenación de recursos (PORN)	2
Espacio Natural Protegido	3
Parque Nacional	4

En caso de que en una misma zona coincidan varias figuras de protección prevalecerá aquella que presente mayor categoría incluyendo en este análisis las áreas afectadas por algún tipo de interés faunístico como son los planes de acción de fauna que reciben una codificación de 1.

También se tiene en cuenta aquellos espacios de interés desde el punto de vista geológico, es decir, aquellos lugares catalogados como Punto de Interés Geológico (PIG) y del mismo modo que los espacios de interés faunístico se añadirán al valor global obtenido.

Tabla 27 Codificación para las estructura de interés geológico. Fuente: Elaboración propia

Definición	Codificación
No existe figura de protección	0
Importancia de protección Leve. Figura a nivel regional	2
Importancia de protección moderada. Figura a nivel Nacional	3

La integración de el elemento Figuras de Protección en el cálculo global de la Importancia de protección implica una ponderación de la codificación resultante como 3 veces el valor de la figura de protección.

$$Figura\ protección = 3x\ Valor_{figura\ de\ protección}$$

## 2.2 Vulnerabilidad/Fragilidad

Las consecuencias de los incendios desde la perspectiva de Protección Civil requieren un análisis cuantitativo en función de los elementos vulnerables expuestos al fenómeno de incendios forestales: personas, bienes y medio ambiente.

La Directriz Básica define la vulnerabilidad como el grado de pérdidas o daños que pueden sufrir, ante un incendio forestal, la población, los bienes y el medio ambiente, y en este sentido, la Planificación de la Protección contra Incendios de los sistemas forestales debe recoger este enfoque como complementario al tradicional del valor intrínseco de los montes para ello se realiza una diferenciación entre los factores socioeconómicos y los ambientales.

### Factores socioeconómico

La vulnerabilidad de la población se puede interpretar a partir de los tres indicadores siguientes: Habitabilidad, Fragilidad y Uso que por integración determinan la vulnerabilidad poblacional.

- **Habitabilidad:** Entendida esta como la capacidad de albergar vidas humanas bien sean casas aisladas( viviendas unifamiliares, urbanizaciones o casas) o núcleos poblacionales
- **Fragilidad:** capacidad de la infraestructura de recuperar su estado inicial tras el paso de un suceso de incendio. El mayor valor lo presentan aquellas estructuras que no pueden recuperar por sus características intrínsecas
- **Uso:** frecuencia de utilización por parte de la población de la estructura analizada, se asigna un valor mayor a aquellas estructuras que aglutinan mayor número de personas durante largos períodos de tiempo, el caso contrario serán aquellas infraestructuras que presentan una utilización puntual.

**Tabla 28 Índice de infraestructuras en función de la vulnerabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de metodología plan comarcal**

Definición	Habitabilidad	Fragilidad	Uso
<b>Núcleos de población/Interfaz urbano Forestal</b>	10	10	10
<b>Carreteras</b>	6	6	8
<b>Aerogeneradores</b>	1	2	6
<b>Línea eléctrica</b>	1	4	6
<b>Bien de Interés Cultural</b>	1	10	5
<b>Caminos</b>	1	1	4
<b>Otras infraestructuras edificadas (corrales, casetas,...)</b>	1	10	2

Para evaluar la vulnerabilidad/fragilidad de las infraestructuras socioeconómicas se evalúa mediante una media ponderada entre los tres factores analizados dando el doble de importancia a la fragilidad frente al resto según la siguiente expresión:

$$Vulnerabilidad = \frac{Habitabilidad + 2 * Fragilidad + Uso}{2}$$

Resultando un índice codificado de 0 a 20 donde los mayores valores corresponden a aquellas estructuras que presentan una mayor fragilidad del territorio en referente a los aspectos socioeconómicos-culturales.

## Ambientales

### Potencial de regeneración de la especie.

En los ecosistemas mediterráneos, como criterio general y en términos de potencialidad, después del fuego tiene lugar un proceso de autosucesión: las comunidades vegetales incendiadas se reinstalan y vuelven a conformar las mismas comunidades a corto plazo (TRABAUD, 1994, 1999, 2000). Esta dinámica se cumple en las comunidades dominadas por pino carrasco y pinaster (NE'EMAN & TRABAUD, 2000), aunque en estos casos esté en función del régimen de incendios, régimen climático o capacidad reproductiva de los pinos ((NE'EMAN et al., 1999; PAUSAS, 2001).

También depende de las distintas estrategias reproductivas (germinadora o rebrotadora) de las especies vegetales, originando importantes diferencias en la rapidez de respuesta (regeneración) inmediatamente después del fuego.

En este apartado se analizan los usos del territorio, tanto forestales como no forestales, estableciendo una clasificación en función de la intersección entre el modelo de combustible y la información aportada por el cruce MFE-SIGPAC donde obtenemos datos de la especie principal, tipo de plantación,...

Tabla 29 Potencial de regeneración de la especie en función de modelo de combustible LiDAR. Fuente: Elaboración propia

Modelos de combustible	Valor
Modelo 1	5
Modelo 2	5
Modelo 3a	4
Modelo 3b	4
Modelo 4	4
Modelo 5	Según especie
Modelo 6	Según especie
Modelo 7	Según especie
Modelo agrícola	6
Modelo agrícola arbolado	6

La clasificación establecida indica que a mayor valor, menor fragilidad en cuanto a la recuperación tras un incendio forestal realizando una variación en función de la especie principal en los modelos arbolados diferenciando si se trata de especies de arbolado natural/repoblado así como si estos están adaptados/no adaptados al régimen de fuegos.

Tabla 30 Definición de fragilidad en función de las especies arbóreas. Fuente: Elaboración propia

Especie	Tipo de masa (Natural/Repoblado)	Adaptación (Adaptado/ No adaptado)	Valor
Amelanchier ovalis	Natural	Adaptado	3
Cupressus arizonica	Repoblado	No Adaptado	0
Juniperus oxycedrus	Natural	Adaptado	3
Juniperus phoenicea	Natural	No Adaptado	2
Pastizal-matorral	Natural	Adaptado	4
Pinus halepensis	Natural	Adaptado	3
Quercus ilex	Natural	Adaptado	3
Quercus faginea	Natural	No Adaptado	2
Tamarix spp.	Natural	Adaptado	3
Especie en repoblación	Repoblado	Adaptado	2
No presenta especie principal			2

### Potencial de regeneración de la estación

Se entiende por estación aquellos terrenos con características ecológicas similares entre las que destacan la orografía del terreno (pendiente, orientación, relieve), las especies vegetales, la tipología del terreno así como la exposición a los rayos solares.

El resultado del análisis de esta variable permitirá zonificar el área objeto de estudio asignando a las zonas que presentan mayores resultados un potencial de regeneración óptimo que en caso de incendio forestal permitirá que la recuperación sea mayor que en el resto de zonas.

Las variables consideradas para realizar la zonificación en función del potencial de regeneración de la estación consideradas en este estudio han sido las siguientes:

- Posición geomorfológica
- Zonas climáticas
- Intensidad Bioclimática Libre (Climodiagrama de González-Rebollar)
- Litología
- Orientaciones

#### Intensidad bioclimática libre en función de geomorfología y zona climática

La posición geomorfológica (ANEXO 5) junto con las zonas climáticas muestran la capacidad de disponer de una mayor o menor productividad en función de las diferentes zonas del relieve, si nos encontramos en una zona de cresta la capacidad del suelo así como de almacenar agua será inferior que en aquellas zonas de vaguadas o fondos de valle que presentan mayores capacidad de retención de suelo y de humedad.

En primer lugar es necesario definir la geomorfología, para ello se ha creado un modelo mediante la herramienta *Model-Builder* de ArcGIS 10.1 que permite determinar la forma de la ladera según la curvatura de la superficie del terreno en la dirección de la pendiente, obteniendo la siguiente clasificación:

- Fondo de valle
- Ladera cóncava, entendida ésta como  $\cup$
- Divisoria
- Ladera convexa, entendida como  $\cap$ .
- Plano, entendido como toda superficie con pendiente inferior a 12%.

Posteriormente es necesario zonificar el área de estudio en función de características climáticas sobre todo referentes a régimen de precipitaciones y temperatura ya que modificarás sustancialmente el potencial de regeneración de la especie, para ello se utilizan la integración de los índices de termicidad y mediterraneidad de Rivas -Martinez (ANEXO 6).

Evaluada tanto la geomorfología como las regiones biogeográficas se genera un único grid, consistente en el intersecado de ambas, que permite calcular a partir de los valores obtenidos y según diferentes hipótesis la Intensidad Bioclimática Libre mediante el Climograma de González Rebollar.

Se entiende por Intensidad Bioclimática Libre el índice que representa la productividad forestal de una estación donde mide la actividad vegetativa de las masas forestales sin contar con el periodo de recuperación fisiológica que experimentan después de la sequía.

A continuación se muestran las diferentes hipótesis utilizadas para cada una de las regiones geomorfológicas definidas en las que varían la capacidad de retención hídrica (CR) y la escurrimiento lateral (W).

Tabla 31. Hipótesis utilizadas para definir IBL en función de posición geomorfológica. Fuente: elaboración propia

Posición geomorfológica	Hipótesis	
	CR	W
Vaguadas/Fondos de valle	Máxima (300)	0
Ladera cóncava	50	15
Ladera convexa	0	30
Cresta/Divisoria	0	0
Plano	100	0

Así mismo se realiza una matriz-resumen con objeto de definir los valores de las intensidades bioclimáticas de cada una de las posiciones geomorfológicas correspondientes a cada tipo de situación climática tal como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 32 Matriz-resumen de definición de la intensidad bioclimática libre para cada zona y posición geomorfológica. Fuente: elaboración propia

Posición geomorfológica	Región climática			
	Zona climática 1	Zona climática 2	Zona climática 3	Zona climática N
Vaguadas/Fondos de valle				
Ladera cóncava				
Ladera convexa				
Cresta/Divisoria				
Plano				

Finalmente, para poder realizar el cálculo final del índice se ha multiplicado el valor de las intensidades bioclimáticas en la tabla anterior por 100 permitiendo así trabajar con números enteros. Obtenido este valor se aplica un factor de ponderación consistente en multiplicar nuevamente por 100 obteniendo el grid definitivo para el cálculo final del potencial de regeneración de la estación.

### Litología

Otro factor a tener en cuenta a la hora de hacer la zonificación del potencial de regeneración de la estación es la litología, para ello se utiliza del índice de Gandullo y Serrada (1977) que permite estimar la Productividad Potencial Forestal, el factor K coeficiente tabulado en función de los diferentes sustratos litológicos en el que se observa que a mayor índice k mayor potencial de regeneración.

Para ello se parte de la información procedente del Sistema de Información Territorial de Aragón (SITAR) correspondiente a la capa de Geología, donde aparece un apartado de litología permitiendo así asignar a cada formación existente su factor K tabulado.



Tabla 33. Factor K para determinar la productividad potencial Fuente: Gandullo y Serrada 1977

Formación litológica	Factor K
Aluviales y fondos de valle, gravas arenas y arcillas	1,66
Arcillas o margas y areniscas	0,55
Calizas y Margas	1
Coluviones. Catos, arenas y arcillas	0,55
Cono de deyección y abanicos. Cantos, arenas y arcillas	1,22
Glacis. Calizas, arenas y arcillas	1
Cantos, arenas y arcillas	1
Terrazas. Gravas, arenas y arcillas	0,55
Yesos y sales	0,33

Para poder determinar el mapa final mediante algebra de mapas es necesario multiplicar por 100 los valores obtenidos en la tabla anterior pudiendo así trabajar con números enteros. Una vez calculado se ha ponderado su valor para englobarlo en el cálculo total de potencial reduciéndolo mediante la raíz cuadrada en el grid correspondiente.

#### Orientación

El último factor que se ha considerado para realizar el cálculo del potencial de regeneración de la estación ha sido la orientación a partir de la herramienta de ArcGIS *Hillshade* ya que permite obtener la iluminación hipotética de una superficie determinando los valores de cada celda del modelo digital de elevaciones que en este caso es de 5 metros.

Se establece una posición de la fuente de iluminación y a partir de ésta calcula la posible iluminación que tiene cada celda respecto a la celda vecina obteniendo así un grid numérico donde los valores más altos corresponden a las zonas con mayor iluminación y por tanto, menor sombra.

Se ha calculado el sombreado para las orientaciones principales que recorre el Sol con una altitud de 45°. Sabiendo que la orientación no afecta del mismo modo a la temperatura del combustible y por tanto tampoco a la humedad, se ha optado por ponderar los diferentes Hillshade en función de la orientación encontrándose los valores más elevados en las orientaciones Sur y Suroeste.

Tabla 34 Factor de ponderación de sombreado en función de situación. Fuente: elaboración propia a partir de metodología plan comarcal

Orientación	Ponderación
Este (90°)	1,8
Sureste (135°)	4
Sur (180°)	6,2
Suroeste (225°)	4,6
Oeste (270°)	2,8

Una vez calculados cada uno de los cinco Hillshade se ha obtenido un único grid agregando cada una de las situaciones consideradas para finalmente realizar una ponderación del valor de la variable pudiendo así incluirlo en el computo global del cálculo de índice, para ello se ha realizado la siguiente expresión.

$$\text{Orientación} = \frac{\text{Hillshade ponderado} \times 100}{\text{vaalor máximo}}$$

Como se ha comentado anteriormente esta herramienta determina la insolación y por tanto a mayor valor menor potencial de regeneración ya que en el ámbito mediterráneo donde existe un acusado déficit hídrico un exceso de iluminación conlleva un potencial de regeneración menor. Para ello es necesario invertir los valores, es decir, el mayor valor se ha reclasificado con el menor a partir de la siguiente expresión.

$$\text{Sombreado} = ((\text{Valor orientación} - \text{Valor máximo}) \times -1) + \text{Valor mínimo}$$

Por último, se obtiene el grid con el potencial de regeneración de la estación a partir de las variables definidas utilizando la siguiente expresión consistente en la multiplicación de los tres raster obtenidos a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Potencial regeneración estación} = \text{geomorfología ibl} \times \text{litología factor K} \times \text{Sombreado}$$

Las categorías indicadas para definir el potencial de regeneración de la estación en el área de estudio viene caracterizado tal como se muestra a continuación, en cuanto a la codificación observamos que valores elevados del índice indican una mejor adaptación para recuperarse de un suceso de incendio.

Tabla 35. Categorías indicadas para definir el potencial de regeneración de la estación. Fuente: metodología plan comarcal

Potencial de regeneración de la estación	Valores	Codificación
Muy bajo	1 <sup>er</sup> quintil	1
Bajo	2 <sup>o</sup> quintil	2
Medio	3 <sup>er</sup> quintil	3
Alto	4 <sup>o</sup> quintil	4
Muy Alto	5 <sup>o</sup> quintil	5

## Riesgo de erosión

Este apartado evalúa el riesgo de erosión existente en el área de estudio para la zonificación de áreas de actuación prioritaria, para ello se utiliza la metodología de cálculo propuesta por la USLE a partir de la cual es posible determinar la erosión actual presente en la zona de estudio. Siendo la ecuación universal de pérdidas de suelo:

$$A = R \times K \times C \times L \times S \times P$$

Dónde:

- A: Pérdida de suelo anuales
- Factor R: índice de erosión pluvial
- Factor K: factor de erosionabilidad del suelo
- Factor C: factor de cultivos
- Factor L x S: pendiente y longitud de la pendiente
- Factor P: Prácticas de conservación de suelo

### Factor R

Al tratarse de una zona homogénea de estudio se ha considerado un único factor obtenido éste en el punto central del área de estudio a partir de los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en el servicio ofrecido por sistema de información geográfico agrario SIGA (<http://sig.marm.es/siga/>) posteriormente se ha convertido a raster como capa homogénea para toda la zona de estudio.

### Factor K

La erosionabilidad o vulnerabilidad del suelo a la erosión, es una característica propia del suelo ligada a su granulometría, porosidad, condiciones hidrológicas y distinta a la erosión del suelo, proceso resultante de esta erosionabilidad expuesta a unas condiciones de clima, relieve y cobertura vegetal.

Utilizando como mapa base la cobertura de información proporcionada por SITAR de geología aparece un apartado de litología se ha incorporado un nuevo campo indicando los valores de este factor consultados en la bibliografía donde una vez incorporados dichos valores es necesario convertir a raster dicha cobertura.

Tabla 36 Clasificación del factor K según la litología. Fuente: elaboración propia

Formación litológica	Factor K
Aluvión	0,24
Arcillas	0,28
Arcillas y conglomerados	0,28
Arcillas, margas y yesos	0,3
Arenas	0,26
Arenisca calcomargosas y margas	0,24
Calcáreas y areniscas	0,14
Calcáreas y margas	0,22
Cantos, gravas y limos	0,2
Cantos, gravas, arenas y arcillas	0,2
Cantos, gravas, arenas y limos	0,2
Conglomerados	0,16
Conglomerados y arcillas	0,22
Dolomías	0,14
Limos y arcillas	0,28
Limos y arenas	0,28
Margas	0,32
Margas yesíferas	0,32
Yesos y sales	0,35

### Factor C

La cubierta vegetal es el elemento natural de protección del suelo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones, controlando no sólo la energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo, sino la velocidad de la escorrentía superficial.

El factor C de la USLE recoge esta influencia debida no sólo al tipo de vegetación existente, sino al manejo o disposición de los residuos que produce sobre el suelo. Para cada tipo de cubierta vegetal en cada una de las teselas presentes se ha obtenido el factor C teniendo en cuenta las equivalencias mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 37 Factores valor C en función de cubierta vegetal. Fuente: Elaboración propia

Formación	Factor C
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Arbolado forestal denso	0,03
Arbolado forestal claro	0,01
Matorral desarrollado	0,08
Cultivo arbóreo y viñedo	0,40
Pastizal matorral	0,12
Prados	0,04
Sin vegetación (Agua, artificial,...)	0

En un primer lugar se decide realizar el cálculo del parámetro C en función de la estructura y la cobertura del Mapa Forestal Español pero se observa una vaga definición por lo que se asignan a cada uno de los modelos de combustible generados mediante tecnología LiDAR el factor C correspondiente en función de la vegetación que lo conforma.

### Factor LxS

Tanto la longitud de la ladera como su pendiente influyen considerablemente en las tasas de erosión de un suelo, siendo el relieve uno de los principales factores que determinan la emisión de sedimentos de las cuencas vertientes.

Respecto a la longitud de la ladera, se conoce la existencia de una zona prácticamente sin erosión en las partes más altas de la ladera, la aparición de fenómenos erosivos de mayor intensidad en la parte media y la sedimentación como proceso dominante en la parte más baja de la ladera, donde en general disminuye su pendiente (Horton, 1945).

EL factor topográfico en la ecuación de la USLE se tiene en cuenta a partir de los factores L, entendida como longitud que recorre la gota de escorrentía desde que se forma, en la divisoria, hasta que encuentra un cauce o una zona de sedimentación y factor S pendiente agrupadas en un único factor.

Para ello se utiliza la ecuación realizada por Moore y Wilson (1992) para la obtención de dicho factor a partir de la metodología SIG consistente en una adaptación de la fórmula de Wischmeier y Smith (1978), para la cual es necesario obtener la pendiente en grados y el cálculo del raster que cuantifique el número de celdas de acumulación hídrica.

$$LS = \left( \frac{N^{\circ} \text{ Pixel acumulados de flujo} \times \text{Tamaño celda (m)}}{22,13} \right)^{0,6} \left( \sin \left( \frac{\text{pendiente (}^{\circ}\text{)} \times 0,01745}{0,09} \right) \right)^{1,3} \times 1,6$$

El raster con el número acumulados de pixel se obtiene a partir del modelo digital del terreno (5x5 metros), donde a partir de las herramientas de Arcgis permite calcular la dirección del flujo de agua en cada celda (*Flow direction*) para posteriormente determinar a partir de éste el número de celdas que fluyen hacia un punto de acumulación (*Flow accumulation*).

Obtenidos estos dos raster (Pendiente y número de píxel acumulados) hay que utilizar la expresión anterior mediante álgebra de mapas y obtener el factor topográfico final.

#### Factor P

Este último factor de la USLE recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela, realizando los trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía.

A partir de la información cartográfica disponible no es posible conocer con exactitud si se han realizado este tipo de prácticas, por tanto el factor descrito toma al valor unitario, es decir, el factor P es igual a uno.

Para la obtención de la ecuación final mediante el álgebra de mapas de Arcgis es necesario que la totalidad de los parámetros se encuentren en formato grid para poder ser implementados correctamente a partir de la siguiente expresión:

$$USLE = \text{factor } R \times \text{factor } K \times \text{factor } C \times \text{factor } LS \times \text{factor } P$$

Para obtener el riesgo de erosión, se han realizado dos cálculos obteniendo por un lado la cartografía correspondiente a la erosión real existente en la zona de estudio y por otro lado la erosión potencial considerando el factor de cubierta vegetal (factor C) como la unidad y por tanto, la ponderación que realiza en el cómputo global de pérdidas de suelo no existe, maximizando la erosión.

Una vez calculado cada uno de los grids, se estima el riesgo de erosión por diferencia entre ambos a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Riesgo de erosión} = \text{Erosión potencial} - \text{Erosion real}$$

La clasificación final para la integración del parámetro en el cálculo de la zonificación global sigue las siete clases utilizadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente englobada en el inventario Nacional de Erosión de Suelo.

Tabla 38. Clasificación erosión laminar para el cálculo del riesgo. Fuente: MAGRAMA

Grado de erosión	Pérdida de suelo (t/ha x año)	Codificación
Nula	0-5	1
Ligera	5-10	2
Baja	10-25	3
Moderada-Baja	25-50	4
Moderada-Alta	50-100	5
Alta	100-200	6
Muy alta	>200	7

## 2.3 Importancia de protección integrada

A continuación se presenta el esquema seguido para obtener el valor global de importancia de protección donde se integran los parámetros analizados.

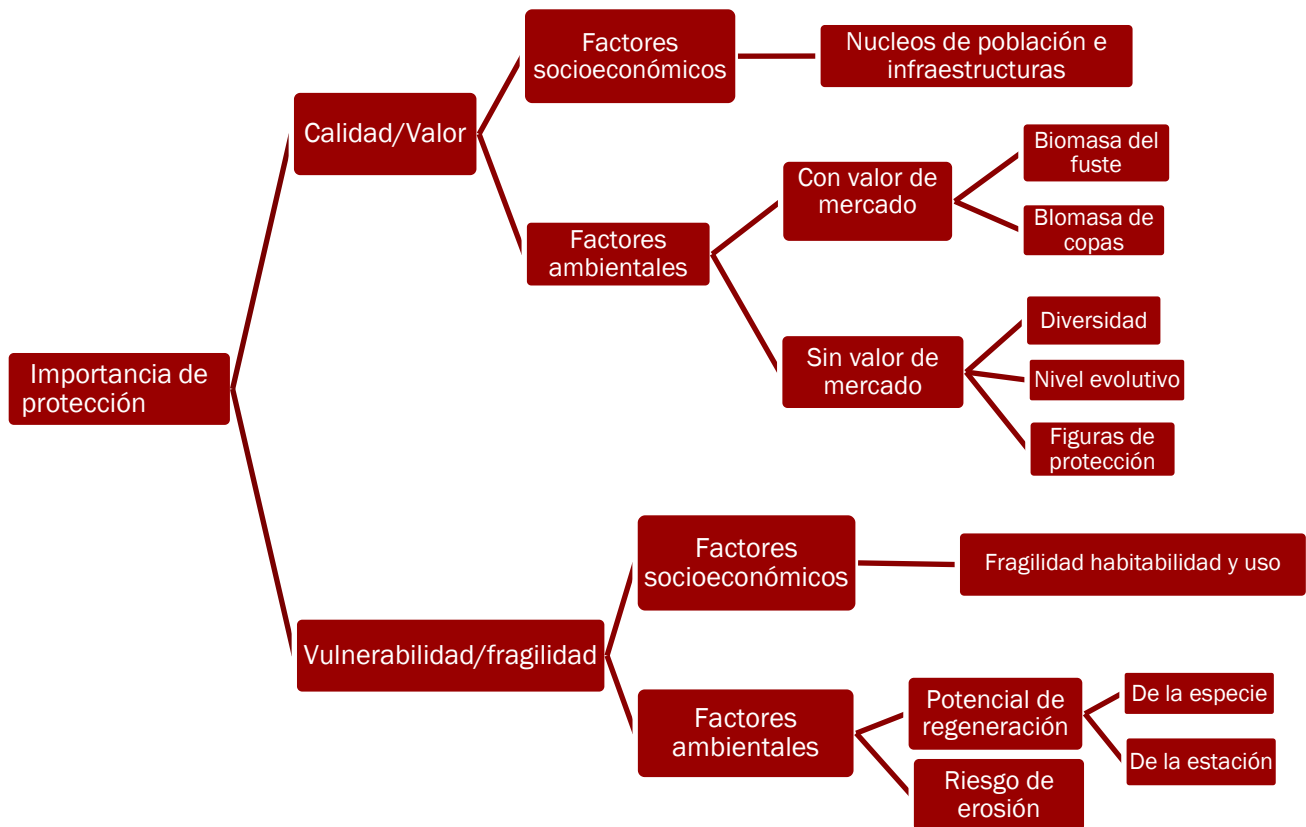


Ilustración 4 Esquema-resumen de la evaluación de importancia potencial. Fuente: Elaboración propia

En cuanto a Calidad/Valor, los valores socioeconómicos analizados interpretan el territorio asignando un valor entre 0 y 100 con mayor valor para aquel elemento que tiene mayor calidad.

En referente a los factores ambientales, la integración de aquellos con valor de mercado (valores comprendidos entre 0 y 10 asignando a mayor índice mayor valor de mercado) con los elementos sin valor de mercado (diversidad codificado de 0 a 5 con mayor índice correspondiente con mayor diversidad; nivel evolutivo, codificado de 0 a 12 con mayor valor para mayor nivel evolutivo y figuras de protección codificado de 0 a 15 con mayor valor para mayor nivel de protección requerido) se lleva a cabo mediante la suma de todos los índices (valores comprendidos entre 0 y 42 indicando a mayor calor del índice una mayor calidad).

Finalmente, la integración de los dos factores vistos, es decir, factores socioeconómicos y Factores ambientales, se realiza a través de la suma de ambos valores (valor final entre 0 y 142).

$$\text{Calidad Valor} = \text{Factores socioeconómicos} + \text{Factores ambientales}$$

En cuanto a la Vulnerabilidad/ fragilidad, los factores socioeconómicos se obtienen tal como se ha descrito con anterioridad obteniendo un índice comprendido entre 0 y 20 donde los valores mayores corresponden a aquellos elementos del territorio que presentan mayor vulnerabilidad.

Los factores ambientales considerados en el apartado de Vulnerabilidad/Fragilidad están constituidos por el potencial de regeneración(especie y estación) y por el riesgo de erosión.

El potencial de regeneración de la especie presenta valores de 1 a 6 y el potencial de regeneración de la estación con valores de 1 a 5 indicando ambos que a mayores valores menor fragilidad; el riesgo de erosión, tiene una variación entre 1 y 7 donde los valores mas elevados corresponden a los elementos del territorio con mayor fragilidad. La integración de los tres elementos considerados se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Factor ambiental} = (R.\text{erosion} - \text{Pot.reg.Especie} - \text{Pot.reg.estación}) \times 2 + 20$$

La justificación de la expresión anterior indica que el índice obtenido presenta a mayor valor mayor fragilidad, esto ocurre en todos los casos excepto en los elementos considerados para evaluar el potencial de regeneración, siendo necesario realizar la inversa de éstos factores, consiguiéndola a través de la resta de ambos por el tercer factor implicado de los factores ambientales, el riesgo de erosión. El resultado final mostrará factores comprendidos entre 0 y 32.

La vulnerabilidad/fragilidad total del área de estudio se calcula como la suma de los factores sociales y los factores ambientales con un rango de valores comprendido entre 0 y 52 a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Vulnerabilidad fragilidad} = \text{Factores socioeconómicos} + \text{Factores ambientales}$$

La importancia de protección final se obtendrá como resultado de la suma de los índices anteriores considerando la Vulnerabilidad/Fragilidad como tres veces más importante que la Calidad/Valor .

$$\text{Importancia de protección} = \text{Calidad Valor} + \text{Vulnerabilidad Fragilidad}$$

## Clasificación de las áreas de defensa prioritaria

La integración de la importancia de protección y el peligro potencial permite obtener las áreas de defensa prioritarias a partir de las cuales es posible definir diferentes niveles de protección o de defensa dentro del área de estudio, diferenciando niveles de protección con el objetivo de conseguir una mejor zonificación global del área objeto de estudio en cuanto a preferencias de protección.

Para ello se definen unos umbrales en función de la zona de estudio tanto de importancia como de peligro potencial utilizando el criterio experto permitiendo subdividir cada uno de ellos de manera gradual planteando seis hipótesis correspondientes a la combinación de los dos aspectos considerados en el cálculo de las áreas de defensa prioritaria.

		Peligro potencial		
		Bajo	Alto	Extremo
Importancia	Extremo	Nivel 1	Nivel 1	Nivel 1
	Alto	Nivel 3	Nivel 2b	Nivel 2a
	Bajo	Nivel 5	Nivel 4	Nivel 4

Ilustración 5 Zonificación de las áreas de defensa prioritaria en función de peligro potencial e importancia de protección. Fuente: Elaboración propia

A continuación se especifica cada uno de los niveles de protección generados en función de sus características:

- Nivel 1 de defensa: Nivel máximo donde prioriza las zonas con importancia de protección extrema tratándose de núcleos de población, interfaz urbano forestal y edificaciones.
- Nivel 2a de defensa prioritaria: Nivel caracterizado por poseer un peligro potencial extremo y una importancia de protección alta, en este grupo se incluyen los terrenos forestales vegetados por especies de porte arbóreo.
- Nivel 2b de defensa prioritaria: En este nivel encontramos un peligro potencial de incendios alto y una importancia de protección alta, es un nivel inferior al 2a en el que se incluyen las zonas forestales con vegetación matorralizada

- Nivel 3 de defensa prioritaria: Se incluyen en este nivel aquellas zonas que presentan un peligro potencial bajo y una importancia de protección alta.
- Nivel 4 de defensa prioritaria: Nivel que presenta una importancia de protección baja y un nivel de peligro estructural alto/extremo, en esta categoría se incluyen los terrenos agrícolas.
- Nivel 5 de defensa prioritaria: Se caracteriza por ser el nivel inferior donde aparece tanto el nivel de importancia como el de protección clasificado como bajo.



## Resultados

---

## Peligro estadístico de incendios

### Índice de frecuencia

Durante el periodo de tiempo comprendido entre 2002 y el 2012 se produjeron un total de 30 incendios repartidos en la totalidad de la superficie objeto de estudio, lo que supone una frecuencia de incendios moderada-alta según el índice de frecuencia codificado.

En el período de tiempo analizado, se obtiene un valor **de índice de frecuencia de 0,4974** por cada 10.000 hectáreas de superficie forestal, sin embargo si éste cálculo lo realizamos para los incendios con una superficie superior a 50 hectáreas analizando los últimos 40 años observamos un índice de frecuencia de 0,050 obteniendo un valor de frecuencia codificado de tipo bajo.

En este caso, se ha de tener en cuenta que casi la mitad de la superficie evaluada corresponde al campo de maniobras militares de San Gregorio donde el número de igniciones es muy superior a las que aparecen en la estadística de incendios del EGIF donde únicamente están registrados los GIF o aquellos en los que el propio sistema de extinción de incendios del departamento de Interior no es capaz de controlar y solicita al departamento de Medio Ambiente la colaboración.

Es destacable el índice de frecuencia en las zonas limítrofes donde se observan valores muy superiores, el área de estudio está rodeada de zonas agrícolas correspondientes a la ribera del río Gallego y la zona de Tauste en las Cinco Villas, con predominio del cultivo en regadío donde el número de incendios es muy superior.

Por tanto, nos encontramos en una zona donde el índice de frecuencia de incendios es moderado-alto y en sus proximidades muy alto-extremo, lo cual implica que los datos elaborados deberán tenerse en cuenta en tanto que los aspectos que determinan el riesgo de incendios en el espacio está directamente relacionado con el número de incendios que se producen en un lugar a lo largo de un período determinado, anual habitualmente, y que el índice de frecuencia demuestra para el período de tiempo estudiado obteniendo valores de 2,72 incendios/año en la totalidad de la superficie.

### Índice de gravedad

El índice de gravedad es entendido como el porcentaje de superficie quemada (forestal, arbolada o no arbolada, así como no forestal) respecto del número de incendios para un período de tiempo determinado. En el período de tiempo estudiado la superficie calcinada ha ascendido a un total de 10.841,39 ha de las cuales 5.003,35 ha estaban catalogadas como forestal arbolado, 4.487,69 ha se trataba de forestal no arbolado y finalmente el resto (1.350,35 ha) correspondían a superficie no forestal.

El índice de gravedad observado en la zona de estudio para el período de 11 años comprendido entre 2002 y 2012 es de **1,89** clasificado como índice de gravedad muy alto-extremo en comparación con los datos medios de la comunidad autónoma de Aragón, destacando que en este periodo ha sido calcinado el 16 % de la superficie total analizada.

Analizando el NFR (Natural Fire Rotation) o periodo de rotación del fuego, índice que representa el tiempo necesario para que un área equivalente a la del caso de estudio se queme totalmente en un periodo de tiempo determinado con los sucesos acaecidos en los 11 años de estudio, tendríamos como resultado un período de rotación de 55 años, si nos centramos en aquellos sucesos superiores a 50 hectáreas en los últimos 40 años, este valor asciende a 112 años.

### Peligro estadístico integrado

El riesgo estadístico integrado es entendido como la frecuencia con la que se produce un suceso así como la gravedad de los mismos, determinándose como superposición combinada de los índices anteriores.

En la zona de estudio, aparece un índice de frecuencia moderado- alto sin embargo se observa un índice de gravedad extremadamente alto, lo que confiere que el peligro estadístico integrado también va a ser alto superando la media para Aragón.

Es destacable la superficie media de incendio en el área de estudio obtenida ésta como el cociente entre la superficie total calcinada y el número de sucesos con un valor de 361 hectáreas, lo que nos permite observar que aunque el número de igniciones sea inferior a las zonas limítrofes la superficies afectadas son mucho mayores por presentar una continuidad forestal elevada implicando así una dificultad de extinción mayor que en las zonas agrícolas.

## Peligro estructural simulado

El peligro estructural simulado es entendido como la facilidad intrínseca que tiene un sistema vegetal para propagar el fuego junto con la dificultad que entraña su control (Velasco, 2000) sin tener en cuenta las actuaciones de combate, para su obtención se ha determinado las dos situaciones más significativas en cuanto a riesgo de incendios obtenidas a partir del análisis de patrones de propagación y tipo de incendio.

Los parámetros que determinan el riesgo estructural están condicionados por:

- Las cargas de combustibles generadas a partir de una adaptación de los modelos existentes (Rothermell y Scot-Burgan) en función de las características de los mismos.
- La humedad de los combustibles (vivo o muerto) ajustadas para la zona de estudio a partir del análisis de los valores del período.
- Las características del viento, evaluadas del análisis de incendios y factores de propagación se ajustan para cada una de las situaciones.

Partiendo de dichos condicionantes, se realizan simulaciones estáticas para obtener el riesgo estructural de la zona bajo unos condicionantes meteorológicos definidos mediante el programa WildFire Analyst con una resolución de tamaño de pixel de 5 metros siendo coincidente con el tamaño de celda definido en el modelo de combustible.

Se decide introducir los vientos de Wind-Ninja puesto que permite adaptar a los efectos del terreno al flujo de viento general generando así un modelo de vientos adaptado a las condiciones locales del paisaje, se utiliza una malla de resolución de 40 metros por ser la menor permitida por el programa.

### 1. Situación de Noroeste (NW)

A continuación se muestra una tabla resumen de los parámetros utilizados para la realización de la simulación con características de NW.

Tabla 39. Tabla resumen de los parámetros introducidos en simulador WildFire Analyst para zona de NW. Fuente: elaboración propia

Factor		Valor
Día y hora de simulación		01 de Agosto; 17:00 horas
Velocidad viento		30 km/H
Dirección		300°
Temperatura		30°
Humedad ambiental		33 %
Humedad del combustible		
	1hora	5
	10 horas	8
	100 horas	8
	Vivo herbáceo	60
	Vivo leñoso	90

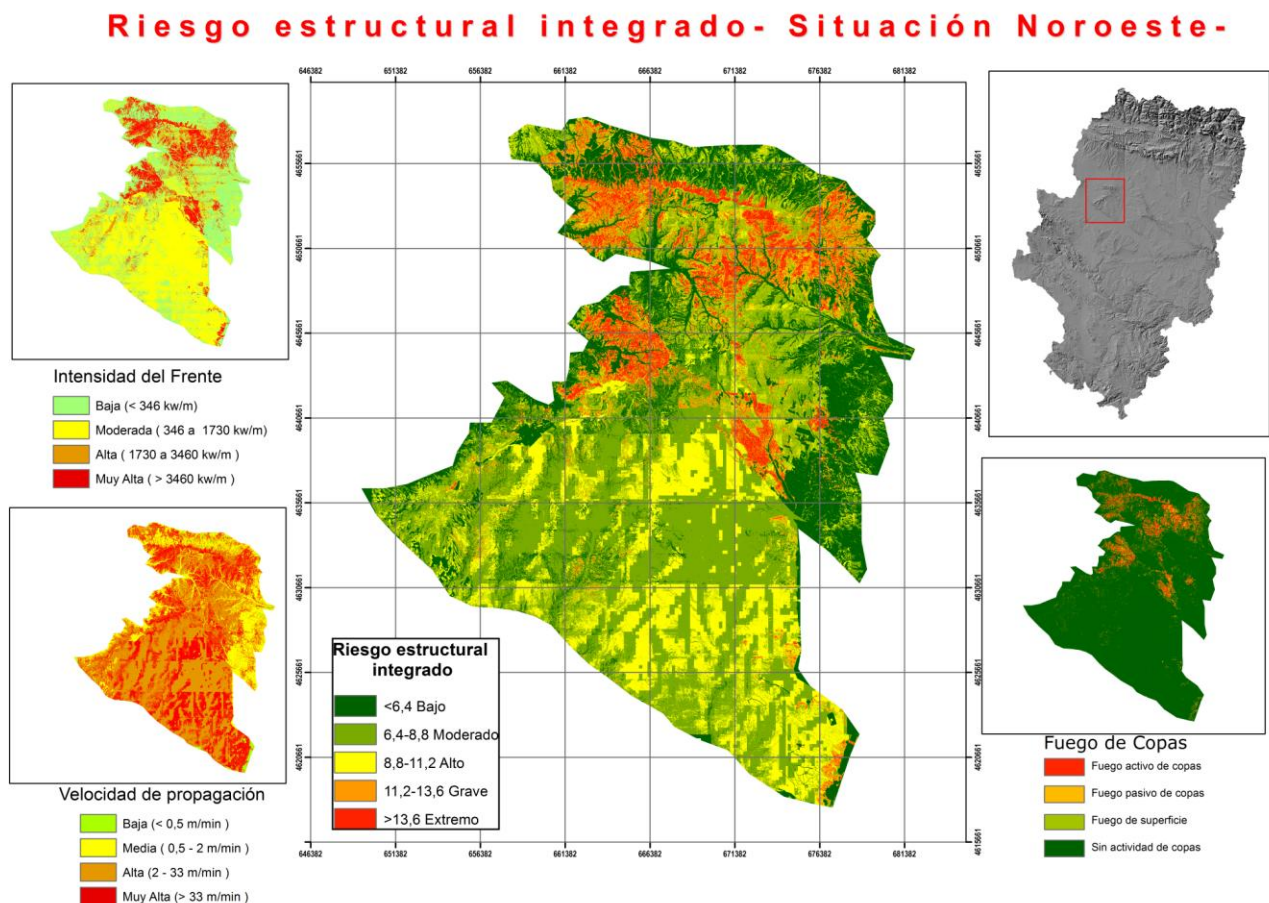
De las condiciones anteriormente descritas, se deriva que ante un hipotético fuego bajo esas condiciones se esperan velocidades de propagación de 33 m/min aparece una superficie superior al 30%. En lo que respecta a la Intensidad de frente de llama de más de 3460 kW/m es del 13 % y finalmente fuegos de copa activos en el 4% de la superficie.

De la integración de los cuatro parámetros anteriormente descritos se obtiene el mapa de riesgo final para la situación de noroeste con los siguientes resultados en función del riesgo:

**Tabla 40 . Caracterización de la superficie afectada en función del riesgo estructural para la situación de NW.**  
Fuente: elaboración propia

Riesgo estructural	Superficie (ha)
Bajo	16.746
Moderado	27.133
Alto	16.437
Grave	4.967
Extremo	4.185

Observamos que existe una parte de la superficie de estudio con un riesgo importante correspondiendo fundamentalmente a las zonas de pinares de *Pinus halepensis* de los montes de Zuera y Castejón de Valdejasa mientras que las zonas con menor riesgo se encuentran en la parte Sur correspondientes a las zonas del interior del campo de maniobras de San Gregorio y en los terrenos agrícolas que rodean la parte superior del área de estudio.



**Ilustración 6 Riesgo estructural integrado para situación de noroeste.** Fuente: Elaboración propia

## 2. Situación de Sureste (SE)

A continuación se presenta un cuadro resumen de los parámetros utilizados para la realización de las simulaciones con la condición de viento de Sureste.

**Tabla 41.** Tabla resumen de los parámetros introducidos en simulador WildFire Analyst para zona de NW. Fuente: elaboración propia

Factor		Valor
Día y hora de simulación		01 de Agosto; 17:00 horas
Velocidad viento		20 km/H
Dirección		150°
Temperatura		35°
Humedad ambiental		24 %
Humedad del combustible		
	1hora	3
	10 horas	6
	100 horas	8
	Vivo herbáceo	60
	Vivo leñoso	90

Bajo estas condiciones en caso de sufrir un hipotético incendio forestal en el área de estudio analizada obtendríamos que el 4 % de la superficie sería con una velocidad de propagación superior a los 33 m/minuto. Se observa una intensidad de frente de llama de más de 3460 kW/m en un 10 % de la superficie con longitudes de llama superior a 3,5 metros y una afección de fuego activo de copas de un 1 % y con fuego pasivo de copas un 8 %.

Del mismo modo que en la situación de Noroeste, se integran los parámetros anteriores (velocidad de propagación, intensidad de frente y fuego de copas) para obtener el riesgo total del área de estudio para la situación analizada..

**Tabla 42** Superficie afectada en función de la clasificación del riesgo estructural para situación de sureste. Fuente: elaboración propia

Riesgo estructural	Superficie (ha)
Bajo	16.465
Moderado	40.470
Alto	3.991
Grave	5.267
Extremo	3.317

En esta situación, en comparación con la anteriormente analizada, observamos que presenta un menor riesgo en conjunto ya que la superficie catalogada como riesgo extremo es inferior y por contra, presenta una mayor superficie de tipo Moderado.

Nuevamente, las zonas que presentan mayor riesgo estructural continúan siendo las zonas con vegetación superior de *Pinus halepensis* y las zonas de riesgo inferior la interfaz agrícola-forestal y las zonas de pastos naturales del interior del campo de maniobras.

## Riesgo estructural integrado- Situación Sureste-

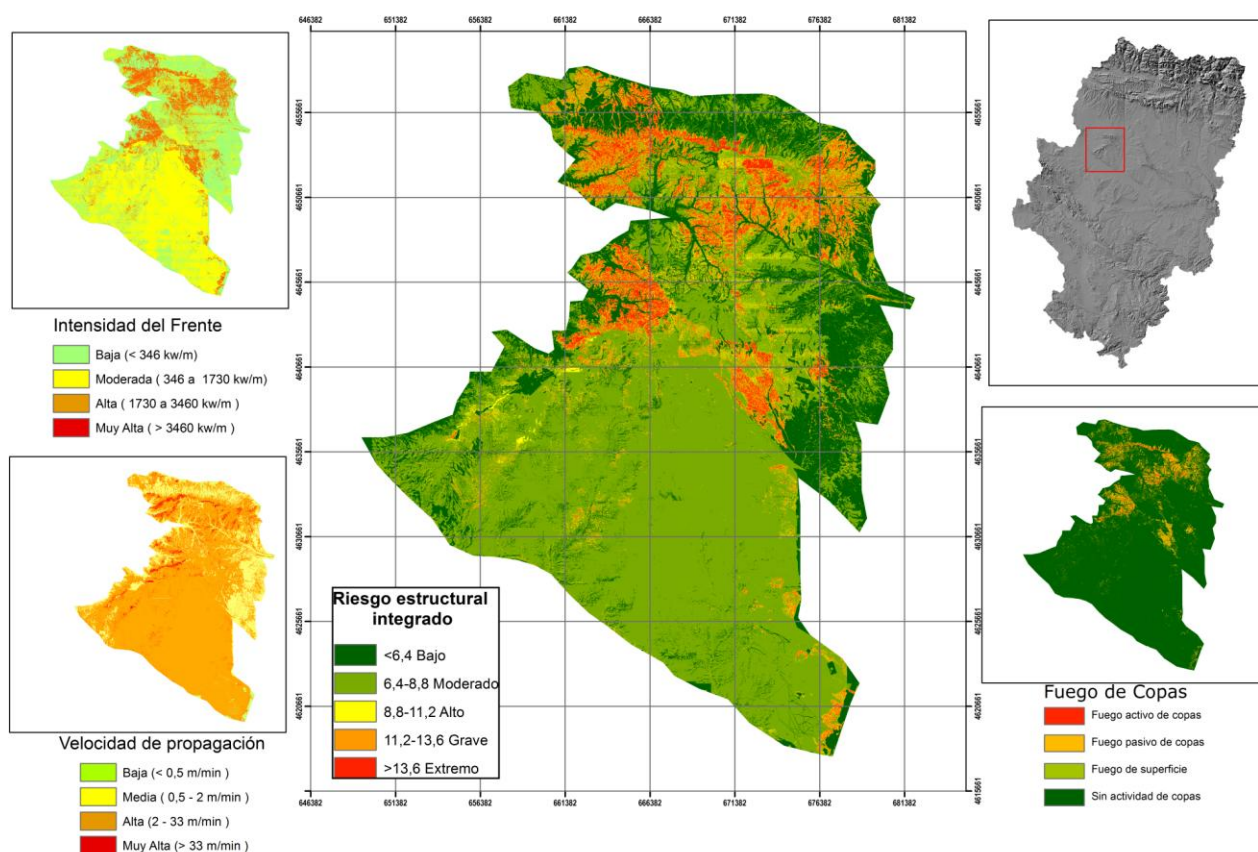


Ilustración 7 Riesgo estructural integrado para situación de sureste. Fuente: Elaboración propia

## Peligro estructural final

Definir el resultado final del riesgo simulado consiste en la realización de una media aritmética entre las dos zonas analizadas aportando ambas un mismo peso en el resultado final.

Si se consideran las dos situaciones arriba descritas encontramos que el área de estudio se subdivide en dos zonas, la parte norte donde se encuentran las masas arboladas naturales o naturalizadas de *Pinus halepensis*, zonas de Quercíneas,...y otras especies arbóreas en sus diferentes estadios de vegetación y una parte Sur en la que se enmarca el campo de maniobras militares de San Gregorio donde en su mayoría predominan las especies herbáceas naturales y pequeñas manchas de matorral mediterráneo.

Es en la zona norte donde se encuentra el mayor riesgo estructural simulado a excepción de las zonas de cultivos agrícolas que presentan un riesgo bajo, también es de destacar el menor riesgo estructural en las zonas que ya han sido incendiadas por presentar una formación de matorral con alturas inferiores a 4 metros en los incendios más antiguos e inferiores a 2 metros los incendios mas recientes.

Si establecemos una síntesis integradora de las dos situaciones analizadas se observa que, al margen de las zonas donde no existe combustible serán los terrenos agrícolas los que presenten un menor riesgo de incendio dentro del área de estudio seguido de los pastos naturales y matorrales degradados del interior del campo de maniobras. Por contra las zonas de mayor riesgo se encuentran en aquellas áreas que presentan vegetación arbórea.

En cualquier caso, 12.179 ha, un 18% de la superficie total analizada presenta un riesgo alto, grave o extremo.



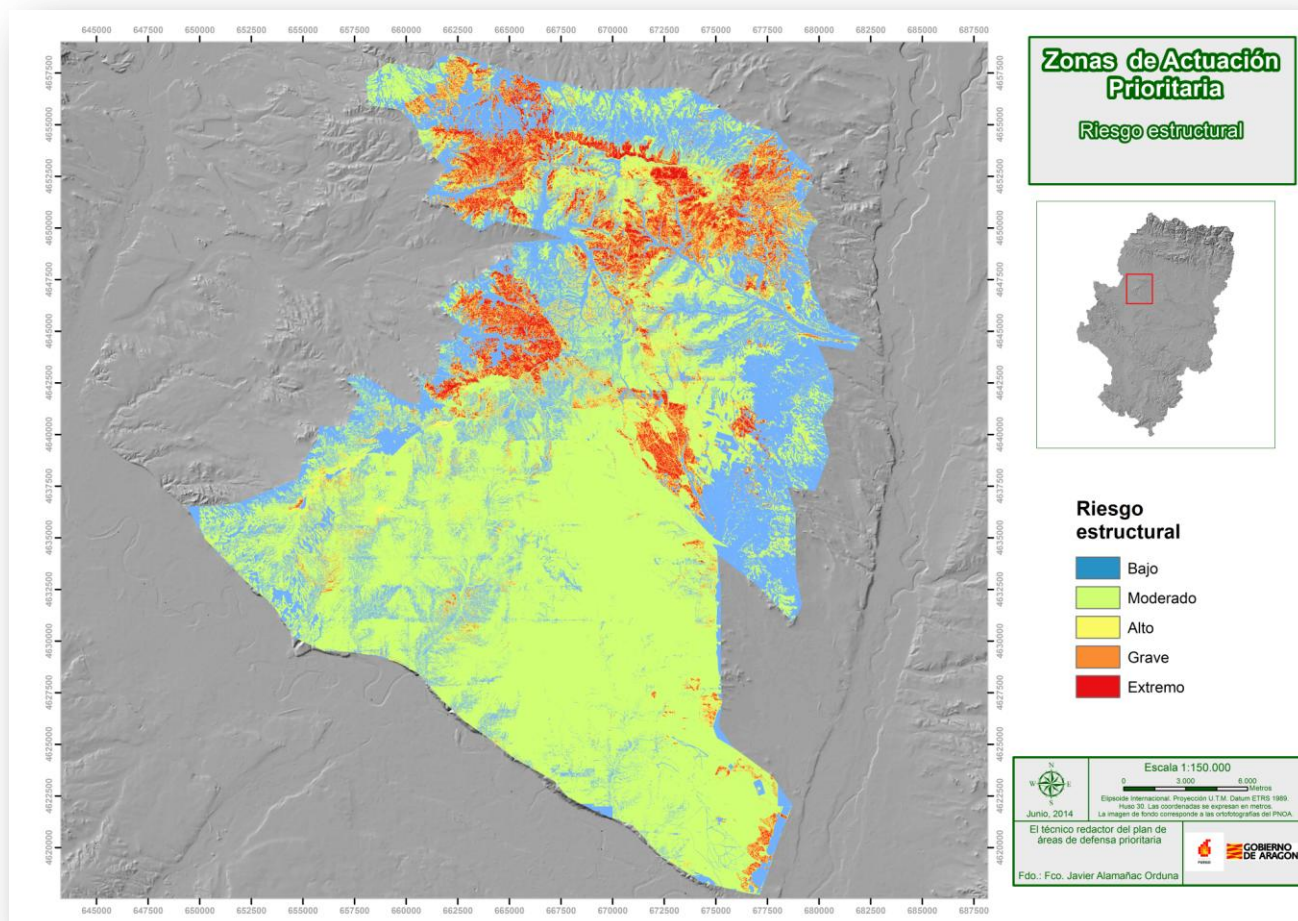


Ilustración 8 Riesgo estructural integrado total. Fuente: Elaboración propia

## Elementos de riesgo

### Elementos naturales

Los incendios producidos a partir de causas naturales que en el área de estudio únicamente se ha relacionado con las descargas eléctricas, corresponden con el 40% de las igniciones totales con un total de 12 sucesos cuya causa de ignición en la base de datos del EGIF corresponde con rayo, lo cual nos indica que es un elemento de riesgo importante a considerar en esta zona.

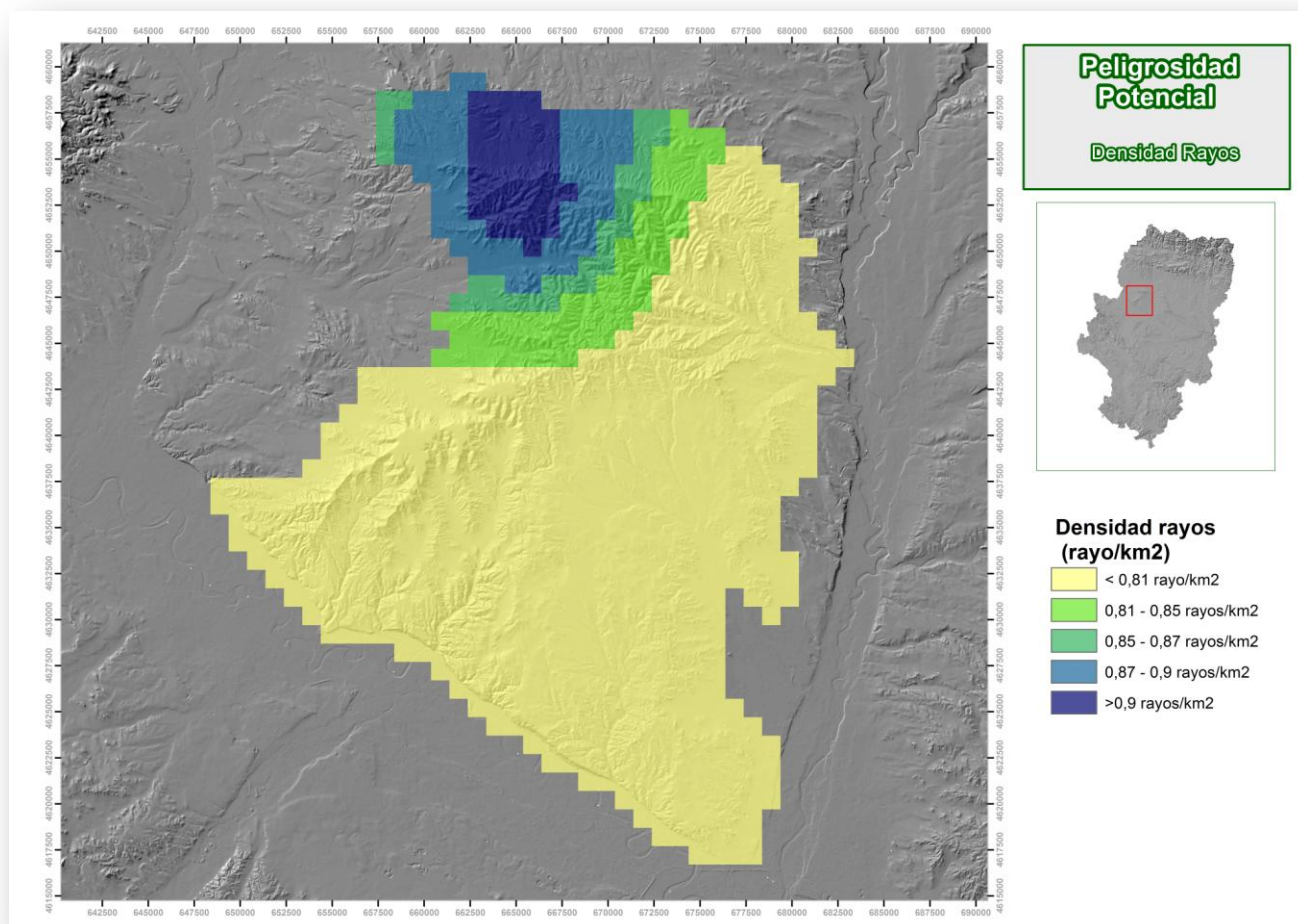


Ilustración 9. Densidad de rayos en área de estudio . Fuente: Elaboración propia

Los más de 3000 rayos caídos en el área de estudio durante el período de mayor riesgo (mayo a septiembre) suponen una densidad media de 0,75 rayos/km<sup>2</sup>, acentuándose en la zona noroeste situada en el término municipal de Castejón de Valdejasa donde se observan mayor número de descargas.

Cabe destacar que de la totalidad de rayos caídos, un 10% ha provocado igniciones, frente a otras zonas como Pirineo Axial donde el número de rayos caídos es mucho mayor y sin embargo, el número de igniciones provocados por estos es muy inferior agravando el riesgo de incendio en la zona donde la vegetación presenta mayor disponibilidad, lo que aumenta la probabilidad de ignición.

### Antrópicos: Infraestructuras y áreas de riesgo

El 56% de los incendios corresponde a causas no naturales, donde el 26 % de estos presenta como origen las maniobras militares seguido de un 15 % por causas agrícolas y con un 4% aparecen accidentes vehículos, fumadores, líneas eléctricas e intencionados.



Tabla 43 Factor de ponderación de los elementos de riesgo antrópicos en función de la causalidad. Fuente: Elaboración propia

Causa	Número sucesos	% del total sucesos con causa conocida
Maniobras militares	7	26
Interfaz agrícola-forestal (Quemas agrícola + cosechadoras)	4	15
Infraestructuras socioeconómicas (intencionado)	1	4
Vías tráfico rodado	1	4
Interfaz urbano-forestal	1	4
Líneas eléctricas	1	4

En lo que refiere a interfaz urbano-forestal y núcleos de población, en el área de estudio encontramos dos tipologías diferentes:

1. Poblaciones y urbanizaciones.

No aparecen localizadas en el interior del área de estudio, pero si en la periferias de este presentando un área de influencia en el interior de la zona. Se trata de la localidad de Castejón de Valdejasa, situada en la parte NW donde aparece un mosaico entre zonas de matorral y pasto junto con campos de cultivo rodeando al municipio así como la presencia de línea eléctrica y carreteras hacen que sea un elemento de riesgo considerando peligroso en cuanto a potencial de incendio forestal.

Referente a urbanizaciones, dentro del área de estudio encontramos dos zonas que pueden catalogarse como urbanización, una de ellas se encuentra en la periferia denominada "Urbanización El Zorongo" situada en la parte SE, zona rodeada de interfaz agrícola-forestal

2. Masías, ventas y casas:

Aunque de menor índole que las anteriores, pues el número de personas que residen o pueden estar en ellas es inferior, no por ello son menos importantes. Encontramos cantidad de este tipo de infraestructuras localizadas en el área objeto de estudio.

En lo que refiere a líneas eléctricas, encontramos 2 líneas eléctricas donde el correcto estado de mantenimiento predomina en el territorio que estas ocupan, no obstante deben incluirse en el análisis debido al riesgo potencial que presentan.

3. Línea eléctrica Magallón-Peñaflor, la cual divide la zona de estudio de este a oeste siendo ésta de alta tensión.
4. Línea eléctrica Castejón-Sierra de Luna, partiendo del núcleo de Castejón de Valdejasa atraviesa la zona NW del área de estudio.

Analizando las vías transitables en el área de estudio, observamos la presencia de 2 carreteras asfaltadas de ámbito comarcal que registran el mayor número de desplazamientos de vehículos, en lo que se refiere a pistas obtenemos que la totalidad de estas puede ser transitada con vehículo. Por lo que nos encontramos en una zona donde es frecuente la utilización de pistas como parte de ocio bien sea con vehículo a motor o bien mediante btt, trekking, ... lo que confiere un riesgo importante, con un 23% de superficie calcinada alcanzando un total de 2.514 hectáreas.

La zona militar de caída de proyectiles se encuentra definida por el Ministerio de Defensa, en la cual queda restringido el acceso de todo personal por el riesgo intrínseco que conlleva. En caso de incendio únicamente se puede actuar en la zona periférica y con medios aéreos. Es de destacar el potencial riesgo asociado a las

maniobras militares, que supone un total de 8.227 ha, un 75 % del total de superficie calcinada, como elementos potenciales de generación de incendios.

En cuanto a infraestructuras socioeconómicas, indicar que existen gran número de éstas con un predominio de corrales, apriscos y casetas siendo elementos que generan riesgo pero en los que no hay vidas humanas sino animales que proteger. También existe zonas recreativas con una afluencia de público importante por su situación geográfica al estar a escasos kilómetros de Zaragoza, sirve de zona lúdica para aquellos habitantes que buscan un entorno natural.

Finalmente, la zona agrícola aparece intercalada entre la zona forestal generando una interfaz agrícola-forestal que en sí misma ya genera un riesgo estructural potencial para que se desencadene una ignición no planificada causando incendio, intrínsecamente algunas prácticas agrícolas conllevan la utilización de fuego como elemento principal de eliminación de restos vegetales donde una mala utilización de las mismas pueden generar incendios.

A continuación se presenta la clasificación de los elementos de riesgo utilizando los quintiles

Tabla 44 Clasificación de los elementos de riesgo antrópico Fuente: Elaboración propia

Quintiles	Clasificación	Codificación
<0,37	Bajo	1
0,37-1,43	Moderado	2
1,43 - 5,6	Alto	3
5,6 - 30,01	Grave	4
>30,01	Extremo	5

## Peligro potencial integrado

La integración de los elementos anteriores permite determinar el peligro potencial que posteriormente permitirá calcular las áreas de peligro potencial ponderando cada uno de los elementos de riesgo.

Se observa que las zonas de mayor peligro aparecen en las zonas forestales acentuándose a medida que estas presentan vegetación superior encontrándose los máximos en las áreas arboladas.

Con un riesgo moderado encontramos las zonas de caída de proyectiles en el interior del campo de maniobras de San Gregorio así como las zonas que con un modelo de combustible de matorral se encuentran en zonas con mayor caída de rayos siendo éste un elemento a tener en cuenta ya que ocasiona gran cantidad de sucesos.

La mitad norte de la superficie presenta un mayor peligro potencial coincidiendo con las zonas forestales por tanto serán estas zonas donde habrá que prestar mayor atención en cuanto a la propuesta de medidas preventivas.

En la parte Sur, aparecen las zonas de caída de proyectiles como una zona de riesgo extremo por presentar una frecuencia de incendios elevada siendo estos los que más superficie han calcinado en el área de estudio.

En cuanto a superficie, más de la mitad (54%) está clasificada como riesgo extremo, seguida por un 24 % clasificada como riesgo muy alto, por contra aparece un total de 989 ha integrando el grupo de riesgo potencial moderado.

Tabla 45 Superficie clasificada en función del riesgo potencial. Fuente: Elaboración propia

Riesgo potencial	Superficie (ha)
Moderado	989
Alto	10.401
Muy alto	35.955
Extremo	21.922

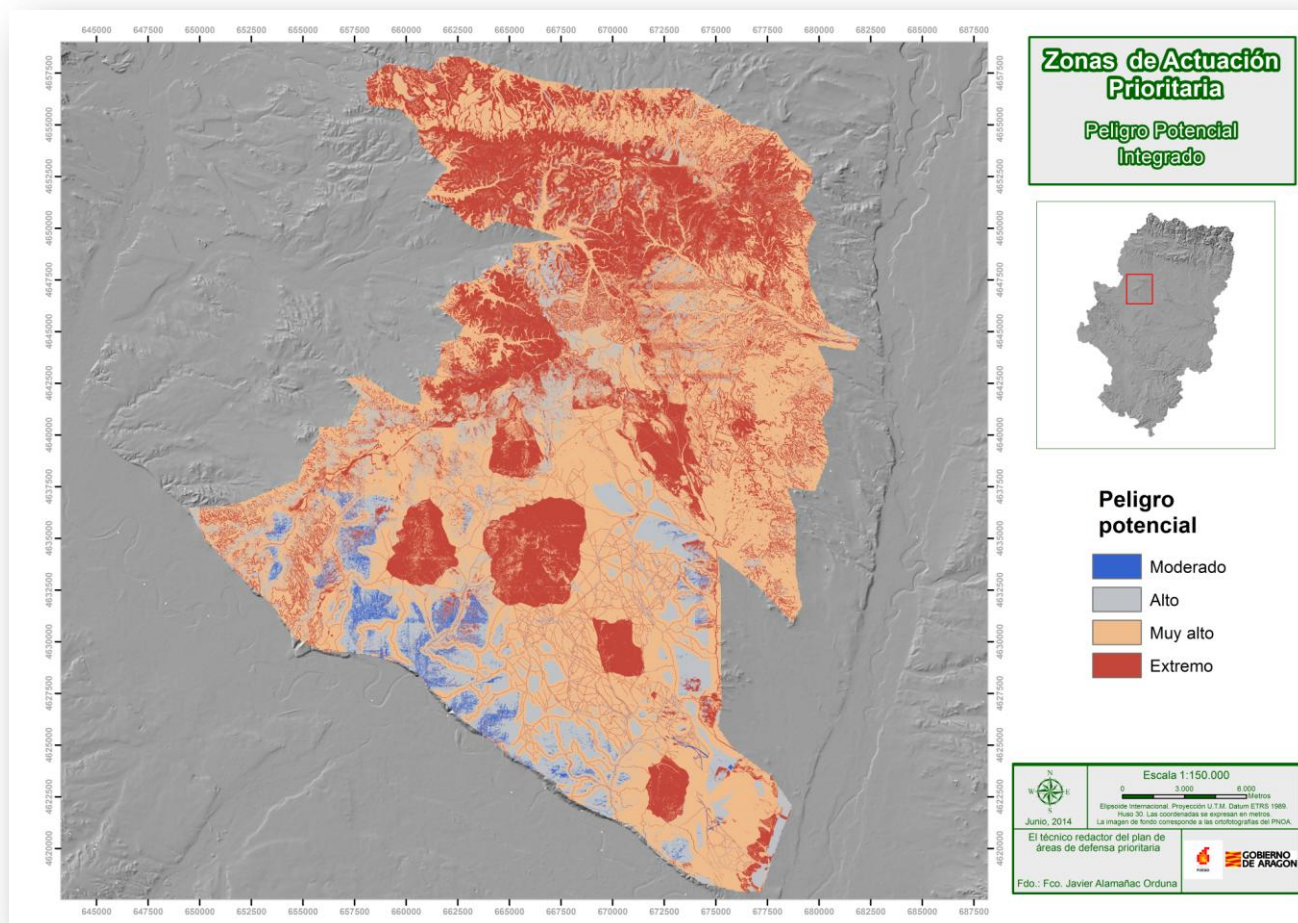


Ilustración 10 Peligro potencial integrado . Fuente: Elaboración propia

## Importancia de protección

### Calidad/Valor

#### Factores socioeconómicos

Los factores socioeconómicos incluidos en el análisis del área de estudio objeto de planificación muestran como elementos principales los núcleos de población e interfaz urbano forestal, seguido de los Bienes de Interés Cultural o infraestructuras socioeconómicas considerados en este apartado. Se ha generado un nivel inferior con aquellos elementos clasificados como otras infraestructuras siendo estos los apriscos de ganado, corrales y pequeñas edificaciones.

En una categoría interior se encuentran las vías de tráfico asfaltado, infraestructuras eléctricas y aerogeneradores.

Por último, el resto de la red de vías se considera como elementos de valor en el área de estudio presentando la menor categoría.

#### Factores ambientales

La integración de los factores considerados que a continuación se analizan, hace posible obtener el mapa de factores ambientales a tener en cuenta en el parámetro de Calidad/Valor donde los valores más altos se encuentran en las zonas forestales arboladas mientras que las zonas de menor calidad/valor se encuentran situadas dentro del campo de maniobras militares.

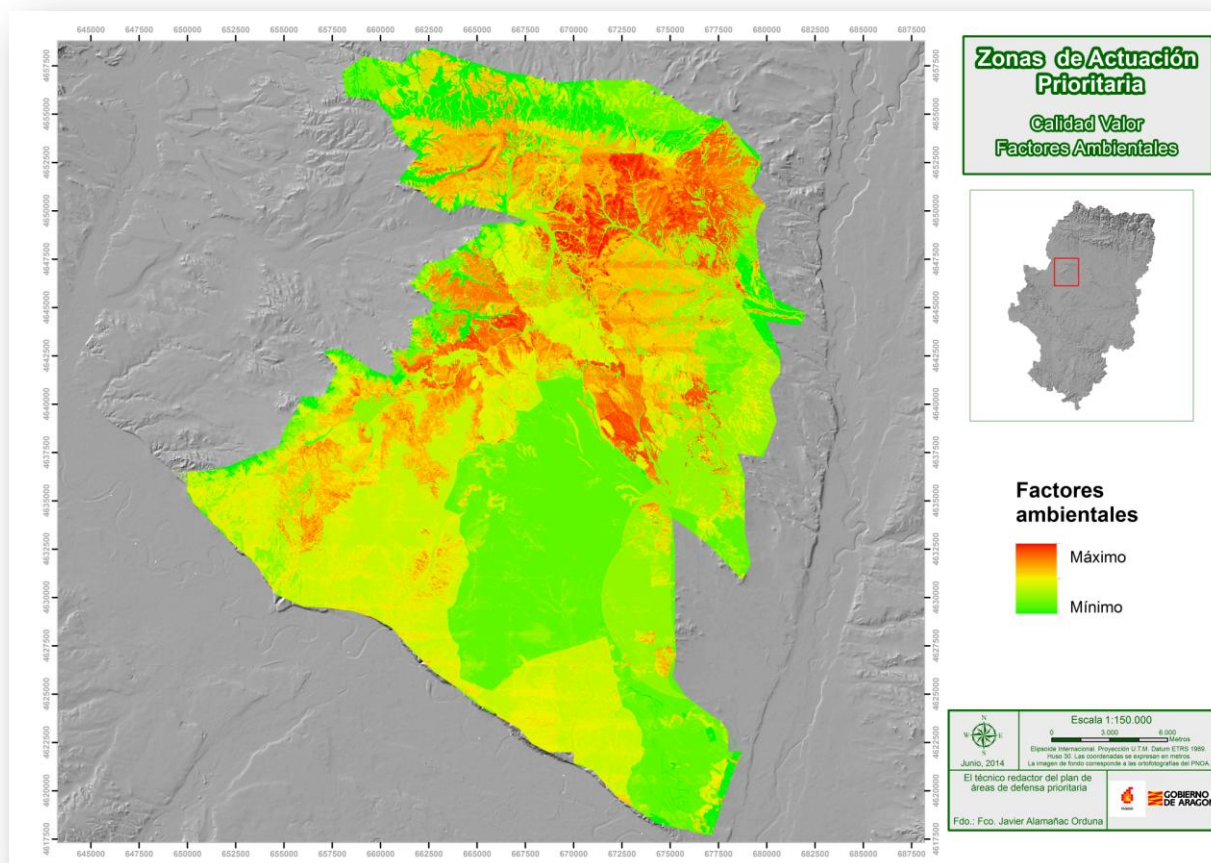


Ilustración 11 Factores ambientales en el apartado de Calidad/Valor. Fuente: Elaboración propia

## Con valor de mercado

El análisis de la biomasa realizado en este apartado corresponde a las especies catalogadas como arbolado siendo estas aquellas estructuras que a partir de la tecnología LiDAR presenta una altura superior a 4 metros de altura.

Indicar que se ha utilizado para su cálculo el modelo de copas generado en el apartado de peligro estructural simulado para obtener el fuego de copas, el resto de zonas no presentan biomasa aprovechable económicamente por tanto se ha desestimado.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los modelos de copas analizados.

**Tabla 46. Análisis de biomasa a partir del modelo de combustible aéreo. Fuente: Elaboración propia**

modelo aéreo	N		DG		HM		Biomasa fuste kg/ha	Biomasa aérea kg/ha	Biomasa total valor de mercado		
	Media	mediana	Media	mediana	Media	mediana			kg/20ha	tn/20ha	tn/ha
<b>1</b>	450,35	413,80	14,10	11,55	4,44	4,44	3707,34	4991,23	527,61	0,53	<b>10,55</b>
<b>2</b>	369,59	334,23	18,13	19,85	6,84	6,84	13851,97	10346,96	1556,25	1,56	<b>31,12</b>
<b>3</b>	145,01	145,01	29,52	29,52	15,25	15,25	26797,37	21195,76	3069,59	3,07	<b>61,39</b>
<b>4</b>	403,92	314,77	15,28	15,87	4,94	4,96	7015,95	5892,90	820,84	0,82	<b>16,42</b>
<b>5</b>	460,37	424,41	19,62	19,21	7,13	7,13	16818,68	12575,84	1890,19	1,89	<b>37,80</b>
<b>6</b>	295,28	198,06	24,83	24,99	9,02	8,98	23019,21	13383,90	2395,64	2,40	<b>47,91</b>
<b>7</b>	597,72	471,50	16,10	16,08	5,73	5,73	12309,11	9501,37	1398,25	1,40	<b>27,97</b>
<b>8</b>	561,06	318,31	19,10	18,89	7,08	7,06	19646,72	10670,48	2007,03	2,01	<b>40,14</b>
<b>9</b>	854,09	721,50	20,09	17,98	9,06	9,15	35125,68	22500,21	3759,44	3,76	<b>75,19</b>

De manera general, podemos afirmar que predominan las zonas de la comarca con "Valor de mercado nulo o muy bajo" correspondientes a zonas predominantemente agrícolas, aunque no sólo, ya que en esta categoría se encuentran zonas con usos de suelo establecidos como "matorral o pastizal-matorral-prado" que aunque sean forestales, no presentan un valor de mercado elevado.

## Sin valor de mercado

### Índice de Diversidad

El índice de Shannon, índice empleado para el cálculo de la diversidad presenta una limitación procedente de la información de partida pues para la elaboración de este índice de diversidad proceden del Mapa Forestal Español donde únicamente están catalogadas las 3 especies principales arbóreas presentes en la parcela por lo que no existe información de las superficies no arboladas, es decir, matorral y pastizal.

Se encuentran los mayores valores de diversidad, por tanto mayor riqueza y abundancia de especies forestales en las masas mixtas donde aparece el pinar con quercíneas mientras que los valores más bajos, por carecer de información coinciden con las zonas consideradas como agrícolas y pastizal-matorral.

Las zonas con mayor diversidad presentan un resultado de 1,09 correspondiente a *Pinus halepensis* en edad de latizal con sotobosque de *Juniperus oxycedrus* y *Juniperus phoenicea* en edad de monte bravo mientras que las zonas de menor diversidad son aquellas que no tienen asignada una especie en el campo sp1 de la capa del MFE.



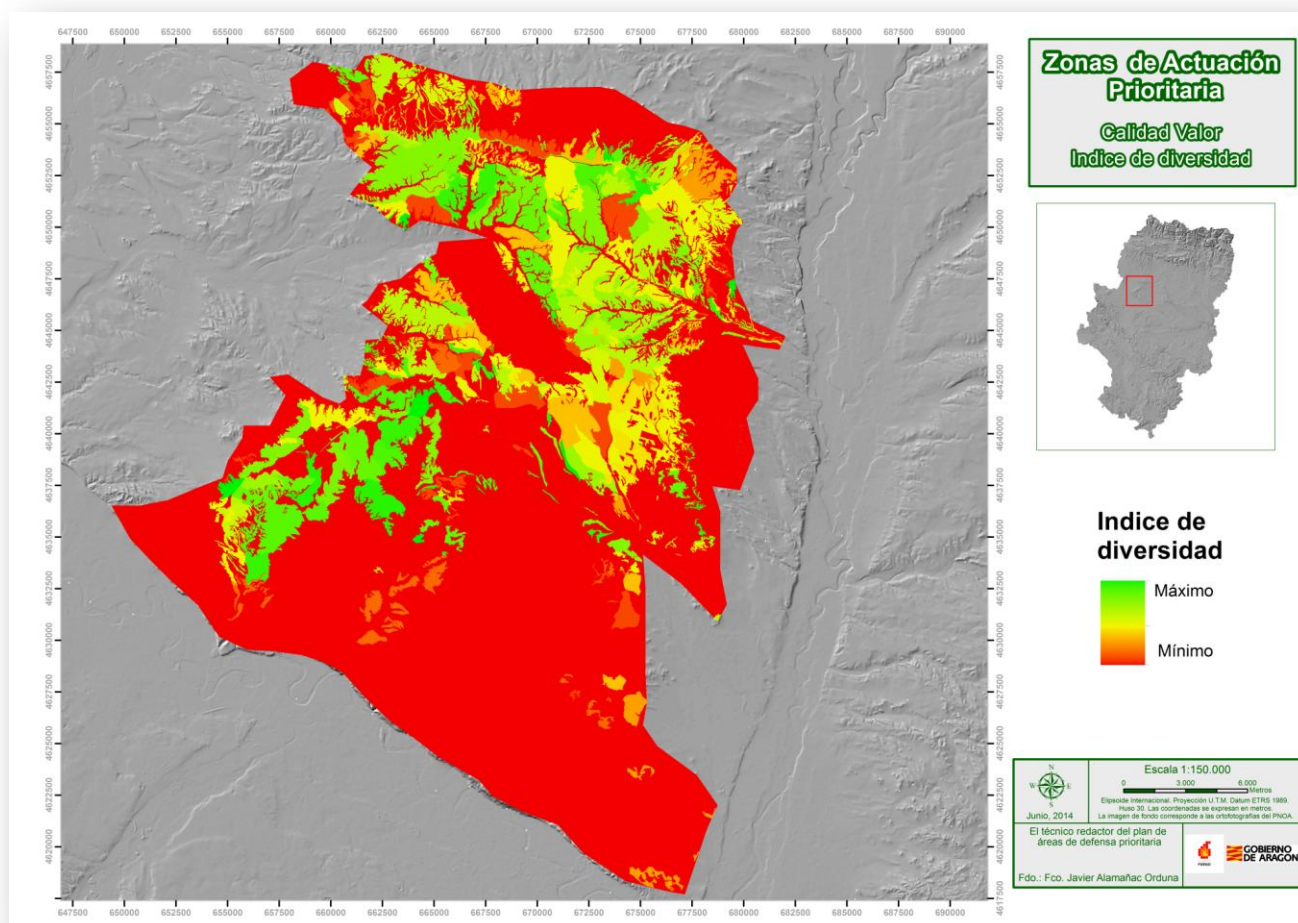


Ilustración 12. Índice de diversidad para la determinación de Calidad/Valor. Fuente: elaboración propia

### Nivel evolutivo

El nivel evolutivo máximo entendido como el nivel climácico corresponde, del mismo modo que el apartado de diversidad, a las zonas forestales con vegetación superior arbolada así como las zonas de vegetación con matorral degradado de la parte Sur del área de estudio por ser dicha formación la climácica de la zona limitantes por la litología así como por la intensidad bioclimática libre.

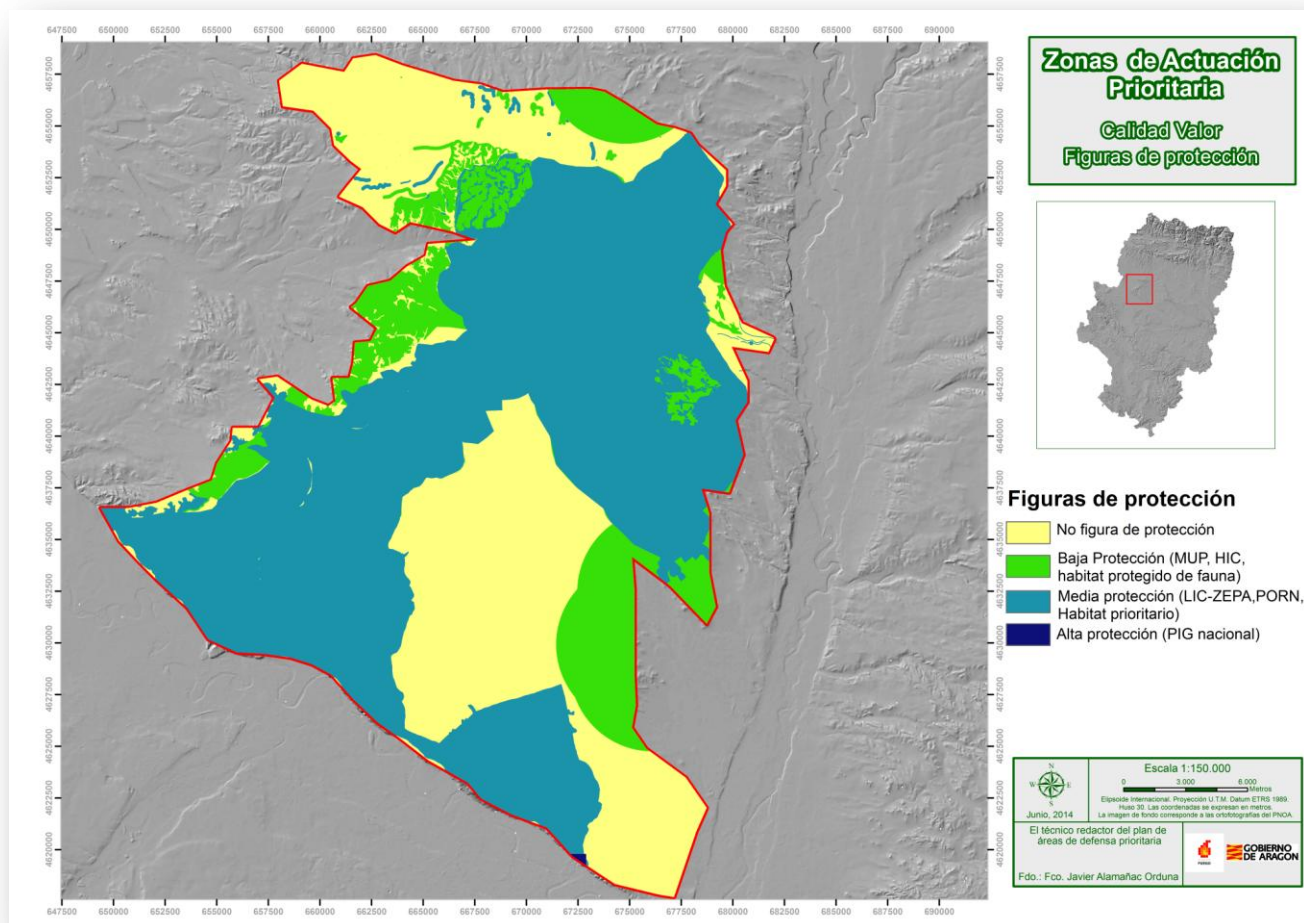
Las zonas con un grado evolutivo medio, es decir, aquellos que se encuentran en un nivel superior al mínimo, con evolución natural hacia estadios superiores, se encuentran ampliamente representados en el ámbito de estudio, siendo el valor más representativo los regenerados tras incendios, caracterizados por ser zonas de pastizal, matorral y prados.

Por último, aquellas zonas con un nivel evolutivo nulo coinciden con las zonas típicamente agrícolas situadas en la periferia del área de estudio, éstas zonas se caracterizan por presentar la evolución impedida o imposibilitada por modificación sustancial del medio.

### Figuras de Protección

El área de estudio presenta gran cantidad de figuras de protección donde únicamente existen casi una cuarta parte del terreno con un total de 21.926 ha sin figura de protección coincidentes en su gran mayoría con el campo de maniobras militares de San Gregorio.

Los valores más altos se encuentran en los elementos catalogados como puntos de interés geológico de carácter Nacional que ocupan un total de 21,7 ha de superficie, seguido de zonas de especial protección para aves y lugares de interés comunitario (ZEPA-LIC) así como de lugares de interés comunitario prioritario, estando la gran mayoría de ellas en zonas catalogadas como Montes de Utilidad Pública.



**Ilustración 13.** Clasificación de figuras de protección para la determinación de Calidad/Valor. Fuente: Elaboración propia

## Calidad/Valor

Obtener el mapa final de calidad/valor tal como se define en la metodología es el resultado de la suma entre los elementos socioeconómicos y los elementos ambientales calculados en los apartados previos.

En primer lugar es necesario reclasificar los parámetros socioeconómicos obteniendo unos valores de 0 a 100 mientras que el mapa de elementos naturales presenta un rango de valores de 0 a 42 siendo el resultado final en el rango comprendido entre 0 y 142.

Encontramos que las zonas con mayor calidad valor, corresponden a los elementos estructurales que pueden albergar seres humanos siendo estos los núcleos urbanos así como las zonas de interfaz-urbano forestal.

Por contra, las zonas con menor valor se encuentran en los puntos que no presentan ninguna calidad ni ambiental ni aparecen en ellos ningún elemento socioeconómico destacable, siendo la zona con mayor continuidad en cuanto a superficie con escasa calidad y valor el interior del campo de maniobras de San Gregorio así como las zonas agrícolas que no se incluyen en ninguna figura de protección.

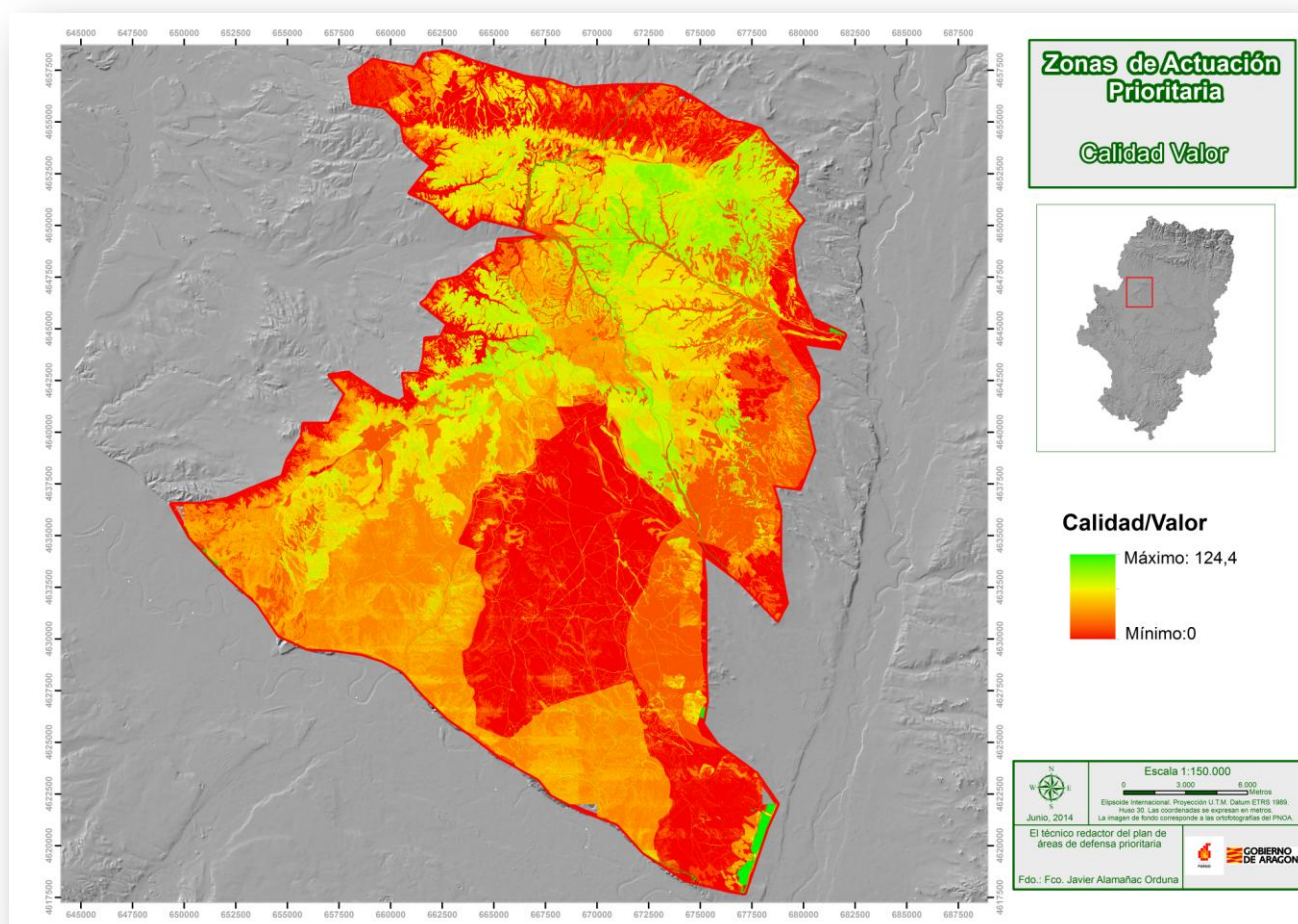


Ilustración 14. Índice de Calidad/Valor. Fuente: elaboración propia

## Vulnerabilidad/fragilidad

### Factores socioeconómicos

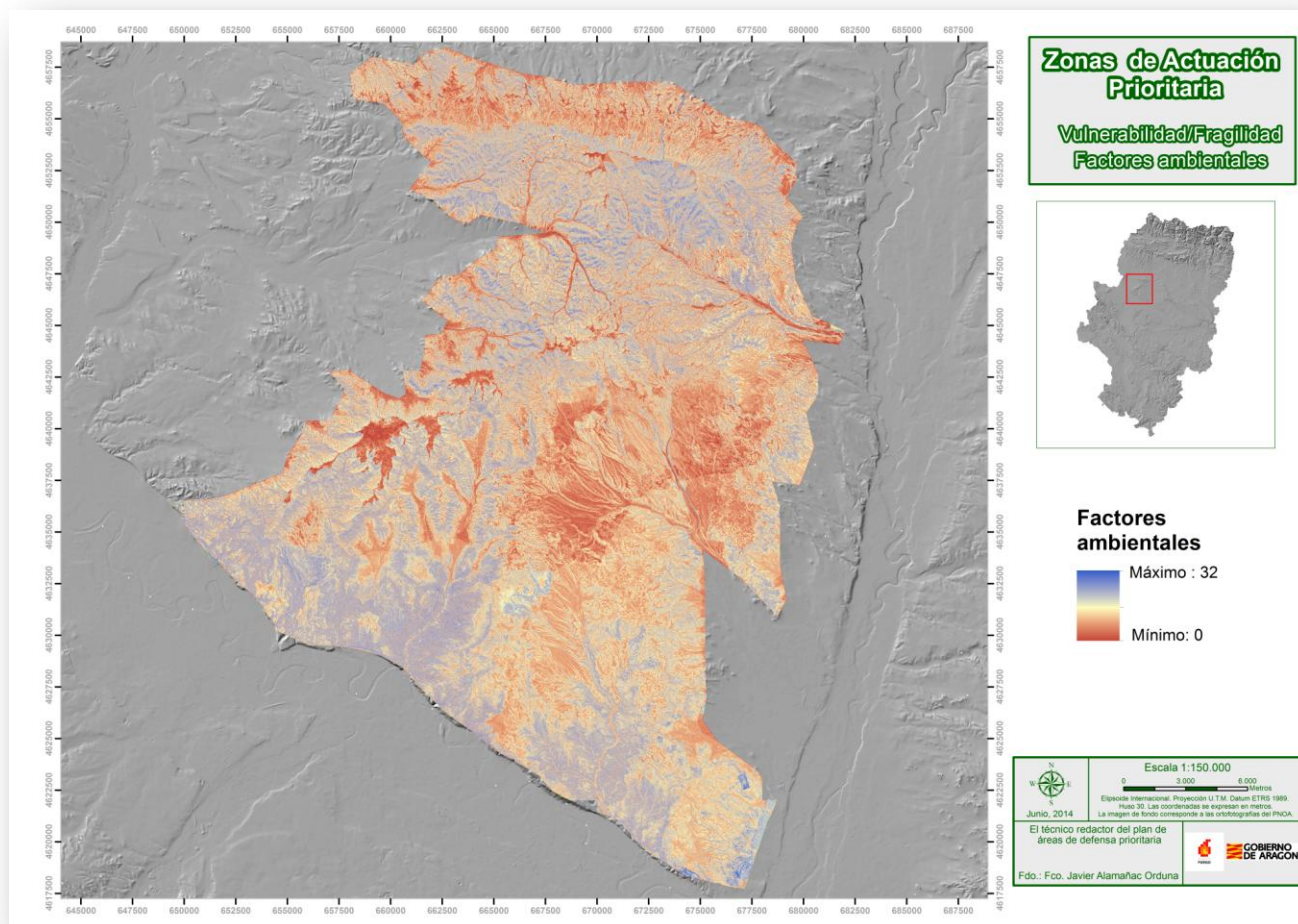
Del mismo modo que en el apartado análogo de calidad y valor dentro de este mismo bloque de importancia de protección, los elementos considerados con una mayor fragilidad son los núcleos de población seguidos de la interfaz urbano forestal, así como los elementos estructurales que tras el paso de un suceso de incendio no es fácil volver a recuperar (construcciones como apriscos, corrales,.... y Bienes de Interés Comunitario como ermitas).

Presentan un riesgo menor las líneas eléctricas, los aerogeneradores y las vías asfaltadas (carreteras comarcales) siendo las pistas forestales las infraestructuras consideradas como los factores socioeconómicos de menor fragilidad.

### Factores Ambientales

Los factores ambientales considerados para evaluar la vulnerabilidad y fragilidad, comentados mas adelante, se muestran en la siguiente figura donde se aprecian valores medios- altos a lo largo de toda el área de estudio pudiendo ser debido a la orografía y a los valores ambientales.





**Ilustración 15. Factores ambientales para la determinación de Vulnerabilidad/Fragilidad . Fuente: Elaboración propia**

### Potencial de regeneración de la especie

El potencial de regeneración de la especie ha sido calculado a partir de la capa de modelos de combustible asignando a cada uno de los modelos una codificación en función del potencial de regeneración donde un mayor valor indica una menor fragilidad en cuanto a la recuperación tras un incendio forestal.

Valores más altos los observamos en las zonas agrícolas mientras que los valores más bajos aparecen en las zonas arboladas repobladas.

### Potencial de regeneración de la estación

Para definir el potencial de regeneración de la especie es necesario la intersección de todos los parámetros que se ha definido en la metodología.

- Intensidad bioclimática libre en función de geomorfología y zona climática

La posición geomorfológica junto con las zonas climáticas muestran la capacidad de disponer de una mayor o menor productividad en función de las diferentes zonas del relieve, para ello se evalúa tanto la geomorfología como las regiones biogeográficas se genera una única capa, consistente en el intersecado de ambas, que permite calcular los valores obtenidos y según diferentes hipótesis la Intensidad Bioclimática Libre mediante el Climograma de Gonzalez Rebollar.

Tabla 47 Resultados de IBL según región climática y posición geomorfológica. Fuente: elaboración propia

Posición geomorfológica	IBL según región climática	
	Zona mesomediterráneo xérico	Zona Mesomediterráneo hiperxérico
Vaguadas/Fondos de valle	4,4	2,10
Ladera cóncava	1,74	1,19
Ladera convexa	1,08	0,46
Cresta/Divisoria	2,32	1,84
Plano	3,2	2,10

- Litología

En referente a la litología, se asignan los pesos asignados en la metodología para cada una de las formaciones geológicas existentes en el área de estudio.

- Orientaciones

La orientación se determina a partir de la herramienta de ArcGIS *Hillshade* obteniendo la inversa de la iluminación hipotética de una superficie determinando los valores de cada celda del modelo digital de elevaciones con un pixel de resolución de 5 metros.

Finalmente se realiza el potencial de regeneración de la especie como integración de los resultados anteriores.

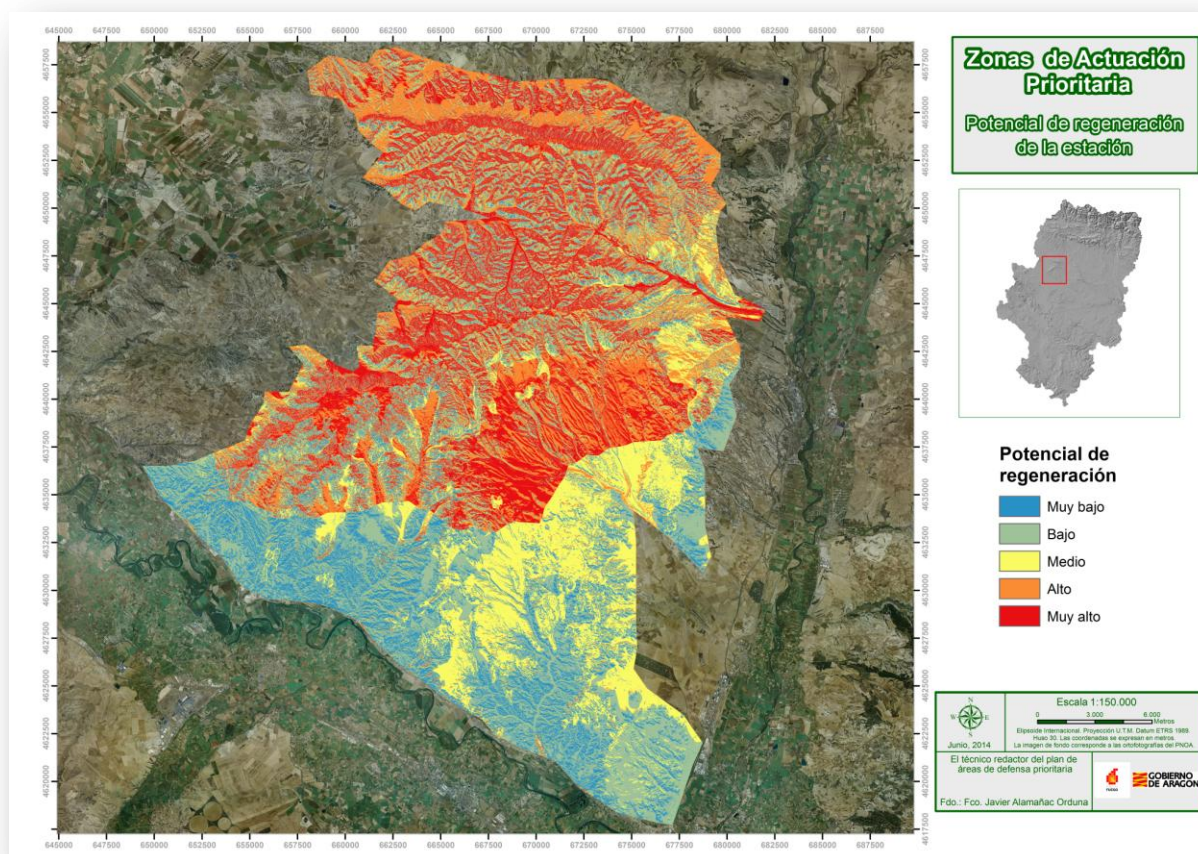


Ilustración 16. Potencial de regeneración de la estación para la determinación de Vulnerabilidad/Fragilidad. Fuente: Elaboración propia



## Erosión

El riesgo de erosión establecido proporciona valores mayores en aquellas zonas forestales donde la fisiografía del área de estudio presenta un perfil más abrupto y en aquellas zonas cubiertas con vegetación pues la pérdida de estas ocasionaría mayores pérdidas.

Un total de 34.729,5 hectáreas que suponen aproximadamente el 50 % de la superficie de estudio están clasificadas con una erosión real elevada (moderada-alta, alta y muy alta) lo cual nos permite identificar que la pérdida de la vegetación existente en el área de estudio ocasionaría una importante erosión y que en caso de un hipotético suceso es un factor fundamental a tener en cuenta en la regeneración post-incendio proponiendo medidas correctoras que atenúen dichas pérdidas.

Es destacable que no solo la vegetación de porte arbóreo tiene un papel importante para minimizar la erosión en el área de estudio, en ella se observa que la eliminación de pequeñas manchas arbustivas de matorrales degradados en las zonas con variaciones topográficas importantes, como es el caso de la parte Sur y Suroeste ocasionaría pérdidas importantes de suelo generando problemas serios de erosión.

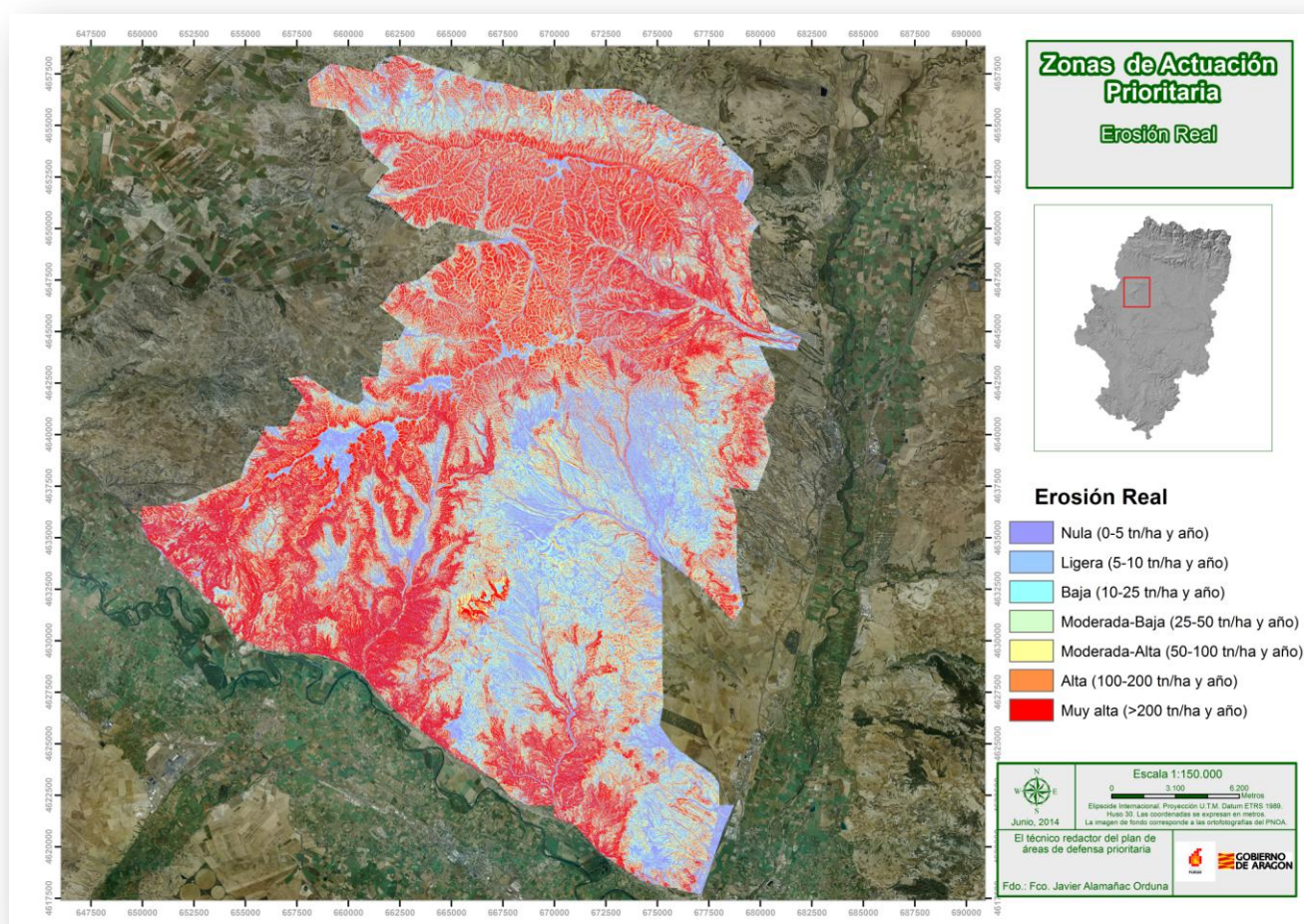


Ilustración 17. Índice de erosión real para la determinación de Vulnerabilidad/Fragilidad . Fuente: elaboración propia

Para determinar la erosión (Actual y Potencial) se han utilizado los siguientes parámetros integrados en la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)

- Factor R:

Se ha determinado a partir de un punto situado en el interior del área de estudio obteniendo el dato de factor de erosión R de la información del Sistema de Información Geográfico Agrario, (SIGA)

Tabla 48 Localización de punto para determinación factor R. Fuente: <http://sig.magrama.es/siga>.

Coordenada X Punto	Coordenada Y punto	Factor R
670518	4638138	<b>83,82</b>

- Factor K:

La erosionabilidad o vulnerabilidad del suelo a la erosión se determinan asignando los pesos descritos en la metodología a cada una de las formaciones litológicas presentes en el área de estudio, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 49 Determinación parámetro K para ecuación USLE. Fuente: elaboración propia

Formación litológica	Valor K
Aluviales, fondos de valle, arenas y gravas	0,24
Arcillas, margas y areniscas	0,26
Calizas y margas	0,22
Cantos arenas y arcillas	0,20
Coluviones, cantos, arenas y gravas	0,20
Gravas, arenas y arcillas	0,20
Glacis. Cantos arenas y arcillas	0,20
Yesos y sales	0,60

- Factor C:

Se asigna a cada modelo de combustible el valor correspondiente definido en la metodología para cada una de las formaciones vegetales que ocupan dichos combustibles.

Tabla 50. Determinación parámetro C para erosión USLE. Fuente: Elaboración propia

Modelo de Combustible	Valor C
1	0,12
2	0,12
3a	0,08
3b	0,08
4	0,01
5	0,03
6	0,03
7	0,03
Agrícola	0,25
Agrícola arbolado	0,25
No combustible	0



- Factor LS:

El factor topográfico en la ecuación de la USLE se tiene en cuenta a partir de los factores Longitud de la pendiente, entendida como longitud que recorre la gota de escorrentía desde que se forma, en la divisoria, hasta que encuentra un cauce o una zona de sedimentación y factor de pendiente.

Los valores mayores los encontramos en los fondos de valle pues es ahí donde mayor longitud presentan las laderas mientras que los valores menores aparecen en las crestas donde el valor del factor L es prácticamente nulo.

## Vulnerabilidad/fragilidad

La integración de los parámetros anteriormente analizados nos permite determinar el grado de fragilidad o vulnerabilidad existente en el área de estudio entendido como el grado de pérdidas o daños que pueden sufrir ante un incendio forestal las diferentes estructuras existente y que afectan a la población, los bienes o servicios y finalmente el medio ambiente.

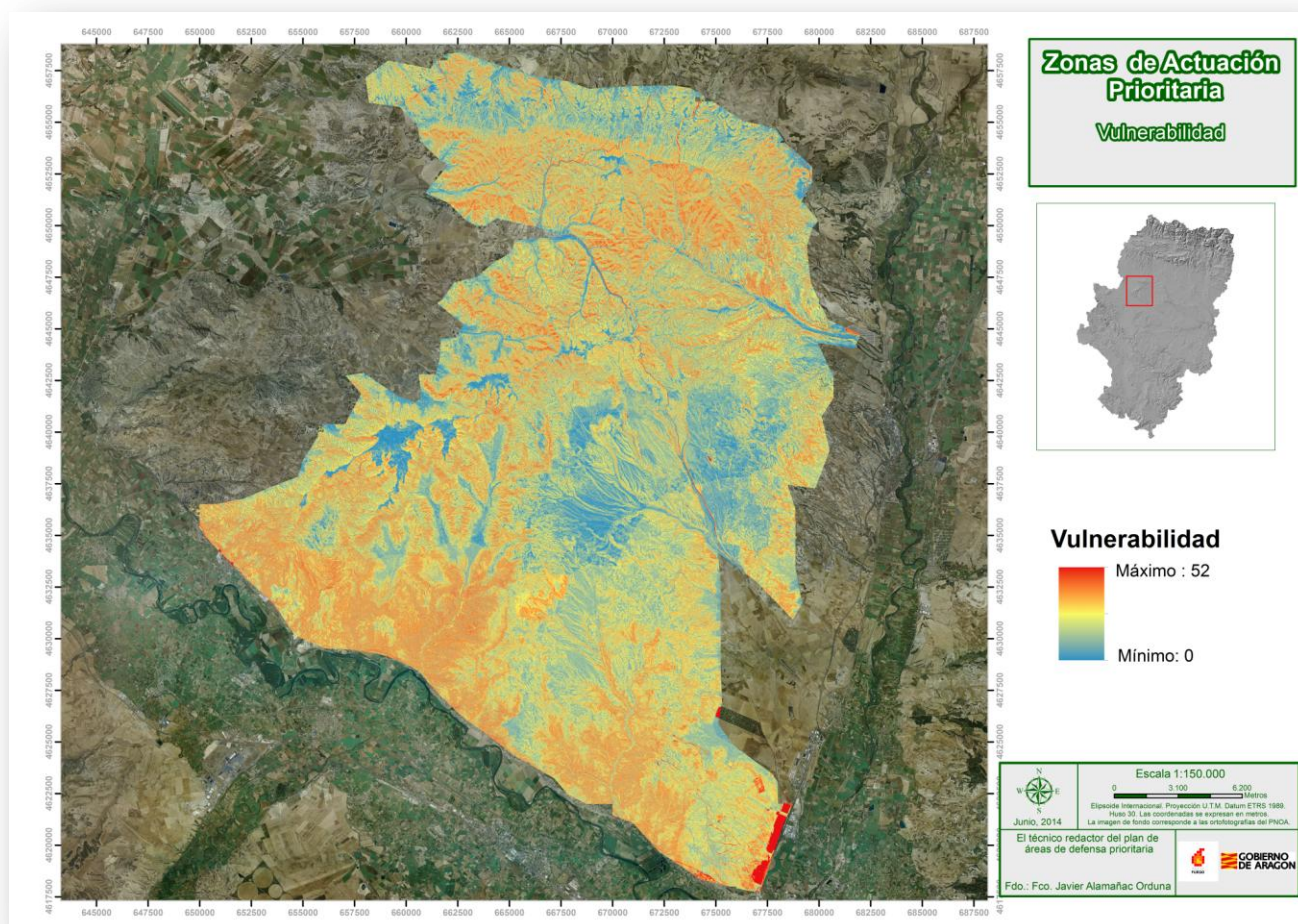


Ilustración 18. Resultado de Vulnerabilidad/Fragilidad para el área de estudio. Fuente: Elaboración propia

A la vista del mapa final, aparecen que las zonas más vulnerables son los núcleos poblacionales, urbanizaciones y construcciones dispersas por el área de estudio por tratarse de elementos que tras un hipotético incendio, no recuperan fácilmente su estado original.

Por contra, las zonas menos vulnerables son aquellas que por sus características intrínsecas no presentan valores elevados de algunos de los parámetros evaluados (potencial de regeneración de la especie, potencial de regeneración de la estación y riesgo de erosión) correspondiendo éstas con zonas del interior del campo de maniobras de San Gregorio. Se tratan de zonas con poca pendiente y escasa vegetación por lo que la erosión es baja, el potencial de regeneración de la estación por estar en la zona hipexérica es bajo y el potencial de la vegetación es medio-bajo.

## Importancia de protección

La integración de todos los factores considerados en la Importancia de de Protección pone de relieve la necesidad de proteger fundamentalmente las zonas construidas, es decir, los núcleos poblacionales, las urbanizaciones, las edificaciones aisladas localizadas por el área de estudio así como otras edificaciones, son estas zonas las que alcanzan los mayores valores. Las zonas forestales arboladas seguirán con esta tendencia de generar medidas de conservación concretas, ya que es en ellas donde se localizan valores medio-altos que deben conferirle una importancia de protección superior comparada por ejemplo con las zonas agrícolas siendo en éstas donde se localizan los valores más bajos de esta integración.

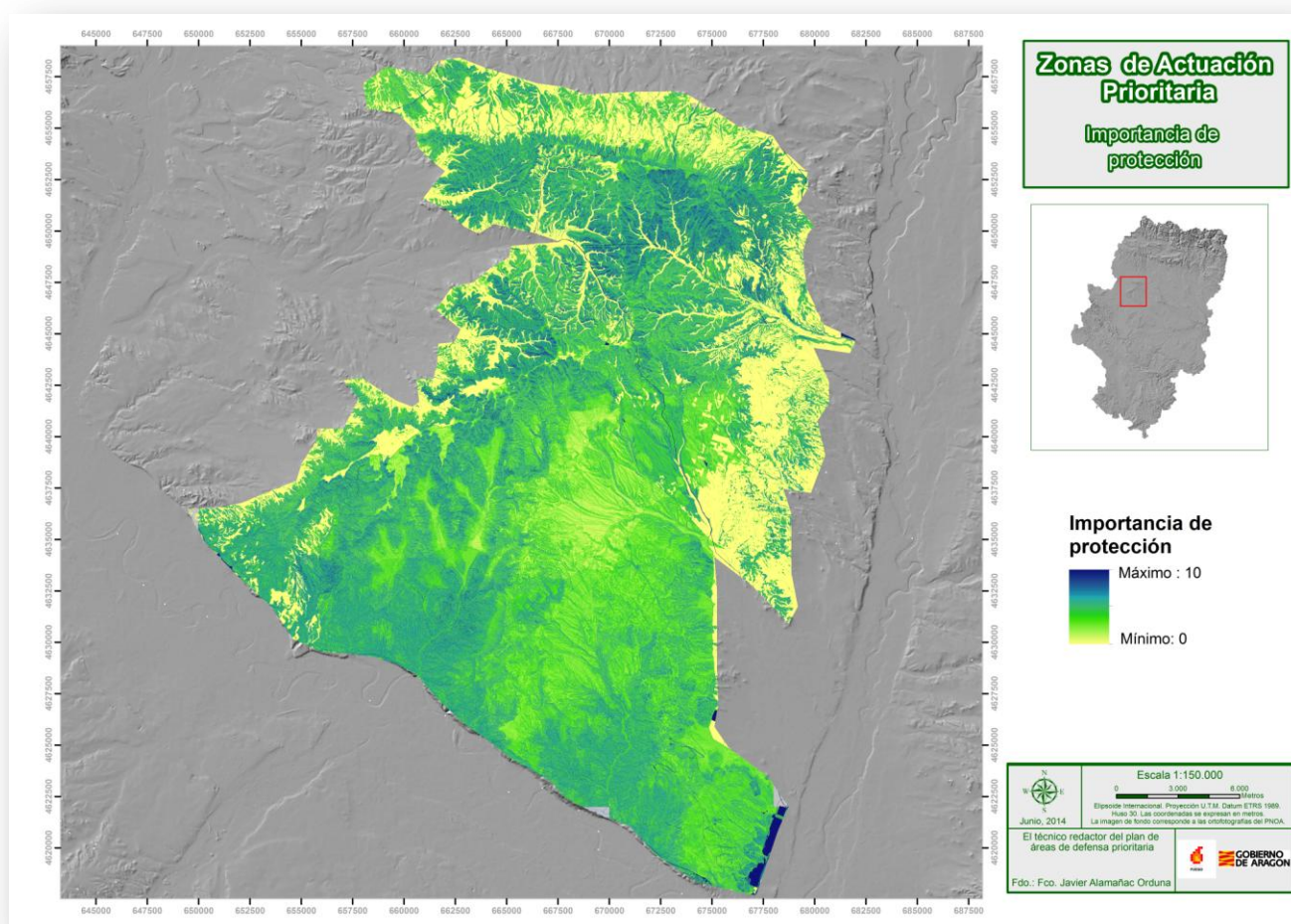


Ilustración 19. Resultado de Importancia de protección para el área de estudio. Fuente: Elaboración propia

## Zonas de defensa prioritaria

De la integración de la importancia de protección y el peligro potencial se obtienen la zonificación de las zonas de actuación prioritaria frente a incendios forestales en Aragón. Permite establecer una serie de



prioridades a la hora de realizar actuaciones preventivas en el ámbito de estudio. Se establecen seis niveles de defensa.

En un primer nivel de defensa se han incluido todos los núcleos poblacionales, urbanizaciones y casas aisladas que pueden estar ocupadas por seres vivos (personas o animales).

El segundo nivel de defensa se encuentran subdividido en dos niveles incluidos aquellos lugares con altos valores de importancia de protección como de peligro.

- Nivel 2a: En este nivel aparecen las zonas que presentan un peligro extremo y una importancia de protección alta, correspondientes a las zonas arboladas del área de estudio.
- Nivel 2b: En este caso nos encontramos zonas que presentan tanto el peligro potencial como la importancia alta, corresponden a aquellas zonas forestales que no presentan vegetación arbórea.

El tercer nivel de defensa, se ha considerado aquellas zonas de alta importancia de protección pero baja peligrosidad potencial. En este grupo aparecen zonas del interior del campo de maniobras de San Gregorio.

El cuarto grupo, definido por lugares con mayor peligrosidad potencial y menor importancia de protección es bastante frecuente a lo largo del territorio comarcal sobre superficies principalmente ocupadas por pastizal-matorral y prados así como los cultivos. Estos último presentan un riesgo alto por encontrarse tal como indica la Orden de incendios, a una distancia inferior a 400 metros de superficie forestal.

Por último, en el quinto nivel de defensa aparece muy poca superficie del área de estudio, estando caracterizado por valores reducidos de importancia de protección y de peligrosidad potencial ya que la mayor parte de la superficie presenta o bien por el riesgo estructural o bien algún elemento de riesgo.

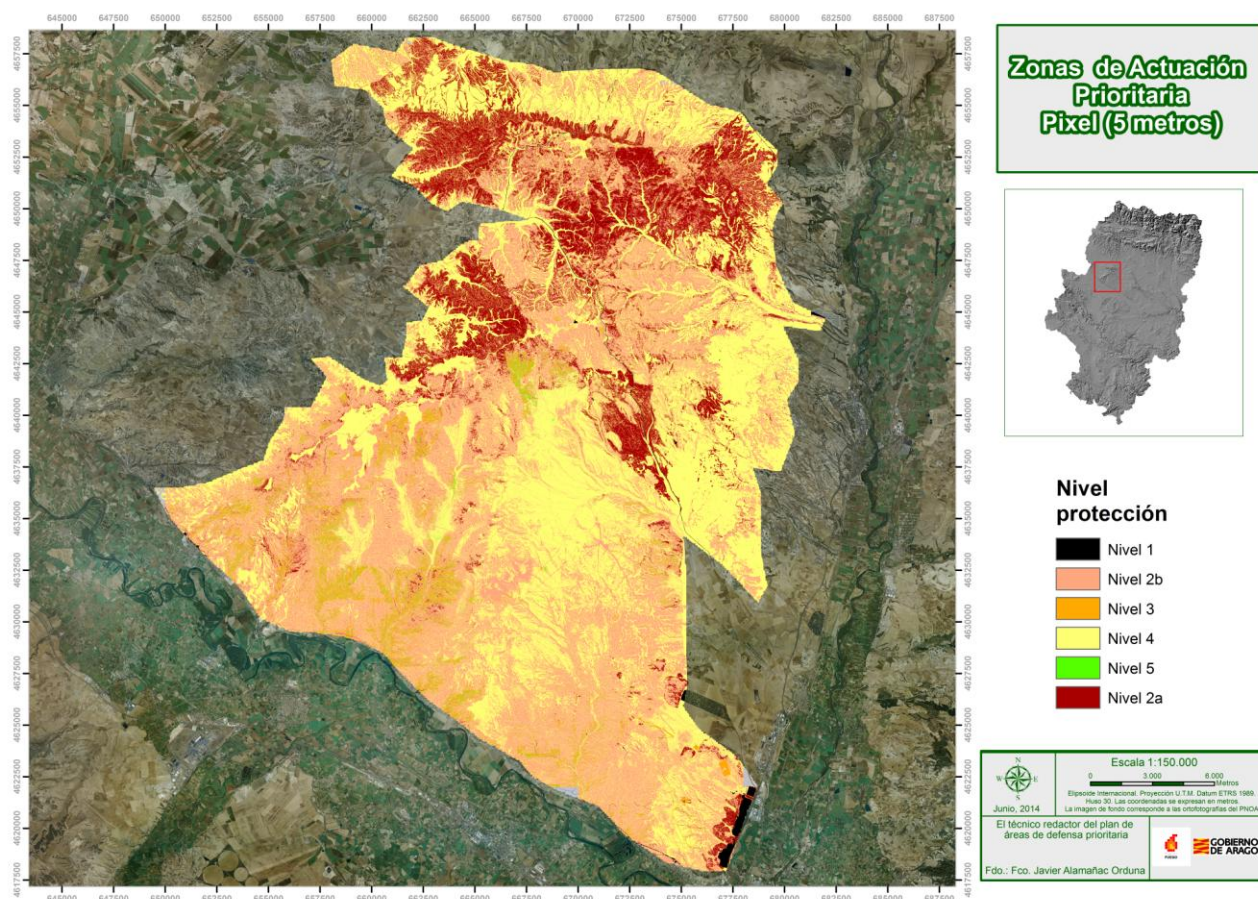


Ilustración 20. Resultado de Zonas de actuación prioritaria en el área de estudio a nivel de pixel . Fuente: Elaboración propia

Se presentan los resultados a nivel de pixel con un tamaño de celda de 5 metros aportando una información muy detallada para el área de estudio, ahora bien, a la hora de diseñar infraestructuras de defensa contra incendios así como planificación preventiva es necesario proponer actuaciones a nivel de tesela.

Desde la dirección del proyecto se propone realizar una zonificación a nivel de parcela partiendo de la división realizada para definir los modelos de combustible a partir de la intersección entre el MFE y el SigPac

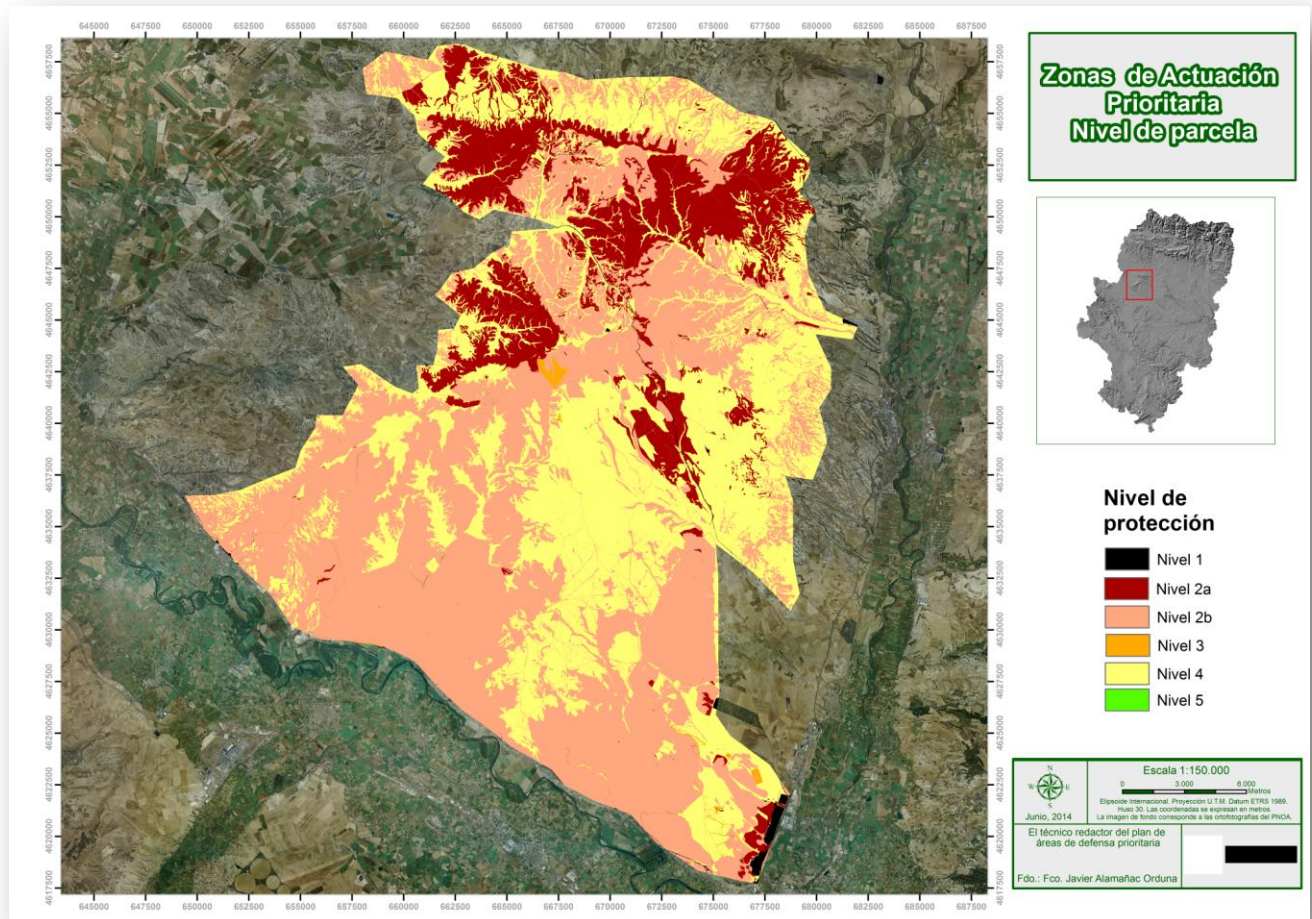


Ilustración 21. Resultado de Zonas de actuación prioritaria para el área de estudio a nivel de parcela . Fuente: Elaboración propia



## Discusión y líneas de mejora

---

### Consideraciones generales

Al analizar la estructura de paisaje, es fundamental elegir una escala adecuada, dado que los resultados dependen directamente de ésta. El análisis de la estructura de paisaje a nivel de parcela de 5x5 metros se ha mostrado útil para observar la disposición de las diferentes clases de vegetación y usos del suelo presentes en la escala de trabajo aportando unos buenos resultados en la modelización de modelos de combustible.

La utilización de parámetros procedentes de LiDAR PNOA ofrece unos resultados adecuados para determinar la altura de la vegetación, ahora bien el empleo de una cobertura de datos LiDAR cuatro años anteriores a la toma de datos de campo así como la utilización del percentil 90 para determinar las alturas, ha generado pequeñas fluctuaciones en la validación de modelo de combustible sobre todo en aquellas parcelas con modelos de matorral o manchas procedentes de regeneración donde el modelo de combustible ha sido infravalorado implicando un peligro menor al que realmente presenta. Teniendo en cuenta que la cobertura LiDAR PNOA va a ser un producto presumiblemente periódico, sería deseable evaluar la adecuación de modelos, empleando las futuras coberturas sin variación temporal y adecuando el percentil 90 a un percentil 95 para determinar la altura.

Las carencias existentes en cuanto a disponibilidad de una cartografía detallada de la totalidad de elementos existentes en la comunidad autónoma de Aragón, en especial de las infraestructuras y lugares de interés cultural ha dificultado la obtención de información de partida por lo que aparece un matiz de subjetividad a la hora de localizar determinados elementos.

### Peligro potencial

El riesgo estadístico pone de manifiesto que ante una superficie homogénea en cuanto a comportamiento de incendios, disminuye su importancia en la zonificación final por no poder discernir en diferentes clases y presentar un único valor para la totalidad de la superficie. Aún así, cabe esperar que en zonas de mayor superficie o con una casuística diferenciada tenga sentido realizar dicha diferenciación. No obstante, la evaluación del riesgo estadístico permite aportar información de la zona de estudio pudiendo ser comparada con otras zonas de meteoalerta.

En referente al riesgo estructural, ha quedado bien representado mediante el análisis realizado con el simulador WildFire Analyst pese a ser una herramienta pensada para el apoyo de operaciones en un entorno de trabajo real utilizando el modo de propagación dinámico presenta la posibilidad de simulaciones estáticas que han sido las utilizadas en esta metodología. En términos generales, si la información de partida en el simulador presenta la mayor precisión posible, los resultados son satisfactorios.

Finalmente en cuanto a los elementos de riesgo, presentan una metodología de obtención de los mismos adecuada siendo un buen estimador la inversa de la distancia en cuanto a ponderación del riesgo ya que aporta una escala gradual donde el mayor riesgo se encuentra en la superficie próxima al elemento y a medida que aumentas la distancia este disminuye.

Ahora bien, la ponderación de pesos de cada elemento es susceptible de rectificación y mejora siendo los elementos principales a revisar los naturales y los cultivos agrícolas. En cuanto a elementos naturales, la información de partida corresponde al punto central de una malla de importante superficie, por tanto para adecuarla al tamaño de celda utilizado en la superficie objeto de estudio es necesario realizar una interpolación, se debería evaluar el método utilizado para llevar a cabo dicha interpolación. En referente a los cultivos agrícolas, indicar que partiendo de la siguiente hipótesis donde en época de mayor riesgo de incendio los mismos se encuentran ya recolectados, presenta un valor de peligro superior al real por lo que tras una validación en campo debería ser reajustado su factor de elemento de riesgo aunque en el área de estudio y tal como indica la Orden de incendios de Aragón, todos los campos son susceptibles de generar riesgo puesto que se encuentran a menos de 400 metros de superficie forestal.

Los elementos de riesgo se han clasificado en función de los quintiles aunque estos deben ser analizados para cada zona de estudio puesto que a la hora de compararlas no se comporta del mismo modo ya que aquellas zonas que presenten mucha interfaz agrícola o muchos elementos de riesgo tipo pistas el resultado

de los quintiles variará respecto a otras zonas que no presenten tantas. En el área de estudio los quintiles se comportan de manera adecuada pero para comparar entre zonas debería ser analizado.

En términos generales, las herramientas utilizadas para la obtención del peligro potencial son adecuadas así como su integración en la ecuación final donde debería ser revisado la ponderación de cada uno de los elementos aportando un mayor peso el riesgo estructural frente a los elementos de riesgo y estadística.

### Importancia de protección

En cuanto a elementos socioeconómicos, indicar que como ya se ha comentado anteriormente no existe una cartografía adecuada lo que dificulta la obtención de información, para ello se debería generar un modelo de solicitud formalizado desde el Gobierno de Aragón donde se solicita dicha información enviándolo a los diferentes organismos competentes (ayuntamientos implicados, registro de explotaciones ganaderas, confederación hidrográfica,...) eximiendo de responsabilidad al técnico redactor del plan en caso de no incluir alguno de los elementos presentes en el área objeto de estudio.

El apartado de calidad/ valor presenta un origen de datos limitados en cuanto a número de especies evaluadas siendo estas las establecidas por el IFN 3 para la provincia de Zaragoza. Así, además de los errores introducidos por el modelo de predicción, hay que considerar la existencia de los generados en la estimación de las variables en campo siendo los apartados más notables diversidad y nivel evolutivo ya que no se dispone de información de las formaciones de matorral-pastizal y la existente en los parámetros arbóreos queda limitada a tres especies.

Indicar también que la evaluación de los parámetros con valor de mercado únicamente se realiza para formaciones arbóreas, que según se ha estimado son aquellas superiores a 4 metros de altura y con una fracción de cabida cubierta mayor o igual al 50 % por ser éstos a priori los que presentan un valor en la posible venta. No obstante, en una posterior revisión se debería tener en cuenta aquellas actuaciones realizadas (claras o clareos) en modelos de matorral podrían ser considerados con valor de mercado por presentar una fuente de ingresos en el ingente mundo de la biomasa.

La caracterización de vulnerabilidad de los elementos en el área de estudio así como la fragilidad de los mismos ha quedado bien representada permitiendo clasificar las diferentes áreas mediante la integración de los parámetros sociales, de regeneración (especie y estación) así como de la erosión repartidos de forma homogénea sobre el territorio.

En términos generales, la metodología propuesta aporta una mayor fragilidad a los núcleos habitados así como a las edificaciones siendo las zonas de menor valor aquellas con una baja erosión o una vegetación de menor desarrollo.

Pormenorizando cada uno de los parámetros analizados observamos que en el potencial de regeneración de la estación la metodología es la adecuada pero el modo de obtención de los mismo debería ser revisado ya que la intensidad bioclimática libre evaluada a partir de la zonificación generada mediante los índice de termicidad y mediterraneidad de Rivas-Martínez genera una división muy marcada y artificial, para ello se propone evaluar a partir de un muestreo sistemático la obtención de un número de puntos en los que obtener la IBL y a partir de estos interpolar para el resto de la superficie de estudio.

En lo que se refiere al potencial de regeneración de la especie presenta a mayor valor menor fragilidad en cuanto a la recuperación tras un incendio forestal realizando una variación en función de la especie principal en aquellos modelos arbóreos, ahora bien la información en función de la especie proviene del mapa forestal español con las limitaciones que presenta siendo necesaria una reclasificación en la que se incluya también las especies de matorral alto y regenerados de incendio en función de la especie.

Por último, la determinación de la erosión laminar mediante la ecuación universal de pérdidas de suelo a partir de los modelos de combustible presenta unos resultados con un nivel de detalle alto aportado por la zonificación en función del modelo de combustible en aquellos factores dependientes de la vegetación.

Ahora bien, la incorporación de nuevas tecnologías permite disponer de información cada vez más precisa y ajustada a los fines descritos permitiendo mejorar las fuentes de información utilizadas para este estudio así como la disponibilidad de cartografía detallada lo que hace necesario una revisión así como una posible reclasificación de alguno parámetros, ejemplo de ello sería el factor C ya que es un factor que depende directamente de la vegetación existente actual y a la hora de determinar la erosión laminar potencial genera valores elevados aplicando la clasificación actual.

### Zonas de actuación prioritaria

El análisis de los parámetros implicados en la determinación de las zonas de actuación prioritaria o zonas de defensa conlleva el estudio pormenorizado de cada una de los factores que la componen. La metodología utilizada presenta una clasificación adecuada en función del peligro potencial y de la importancia de protección donde se establece unos rangos que permiten definir las unidades de actuación en función del nivel de actuación prioritaria.

Es necesario realizar una zonificación a nivel de parcela obtenida a partir de la rodalización el área de estudio en función de la estructura de la masa, se ha utilizado las teselas del Mapa Forestal Español que a la vista de los resultados no se adaptan al detalle propiciado por la nueva metodología siendo necesario una nueva división.

Para ello se propone realizar la segmentación de las parcelas ya existentes del Mapa Forestal a partir de tres criterio obtenidos en la presente metodología generando así una nuevas estructuras adaptadas permitiendo así obtener zonas con condiciones o características del medio semejantes que presentan uniformidad a la hora de establecer actuaciones tipo de cualquier índole:

- Factores bióticos: determinados estos en función de los parámetros LiDAR siendo el elemento principal la altura por tratarse de un factor que presenta una alta fiabilidad
- Factores abióticos: Parametrizados a partir de la geomorfología determinada en la presente metodología así como la orientación a partir del sombreado.
- Otros factores: Resultado de los análisis planteados en la metodología actual: Peligro potencial, Importancia de Protección, Vulnerabilidad, Fragilidad, elementos de riesgo.

## Conclusiones

La problemática de la planificación y la zonificación del riesgo de incendios exige un detallado conocimiento del contexto espacial, temporal y social en el que se desarrollan las perturbaciones para las que van a ser diseñadas como son los incendios forestales por lo que es necesario una demanda de estudios que caractericen las circunstancias en que se desarrollan los incendios forestales sirviendo como modelo para prevenir, predecir y planificar acciones y estrategias que disminuyan el potencial de los futuros incendios.

Este trabajo pretende servir de estímulo promoviendo así el uso de la técnica aquí descrita ya que solo la expansión de su empleo acabarán mostrando su utilidad, no solo desde el punto de vista de planificación de incendios forestales sino su uso en el ámbito del inventario forestal.

Respondiendo a los objetivos generales se extraen las siguientes conclusiones:

En este proyecto se ha elaborado una metodología que sirve como instrumento de referencia en la planificación del territorio en un ámbito homogéneo de actuación como son las zonas de meteoalerta permitiendo proponer medidas de actuación preventivas para la zona analizada y define una serie de herramientas que permiten hacer frente o al menos minimizar los efectos de los incendios forestales y especialmente de los grandes incendios forestales en terrenos forestales, rurales y urbanos partiendo de la planificación de prioridades de actuación donde interactúan la relación entre el paisaje forestal, los factores socioeconómicos y los incendios forestales.

### Utilización de tecnología LiDAR en la definición de modelos de combustible.

Los resultados ofrecidos por este trabajo reafirman la utilidad de la tecnología LiDAR y en concreto los datos procedentes del PNOA para el inventario de modelos de combustibles. La metodología empleada tanto en el diseño del inventario como en la modelización del combustible ha resultado adecuada, obteniéndose precisas estimaciones de variables como la altura dominante o la fracción de cabida cubierta, parámetros implicados para el diseño de los modelos de combustible de Prometeus. En ese sentido, cabe destacar la utilidad de los estadísticos LiDAR en la estratificación y planificación del inventario permitiendo evaluar la masa en función de las alturas. Es importante resaltar que aquellas masas arbóreas con importante sotobosque o siendo este de gran espesor conduce a errores para alturas inferiores a 1,5 metros. Así mismo, no se debe olvidar que estos resultados se obtienen de forma continua para toda la superficie y a una escala de gran detalle ofreciendo un gran avance en la planificación y gestión de masas forestales frente a incendios.

### Imbricación de simuladores tanto en la simulación a tiempo real como en la planificación preventiva

Un sistema de simulación donde los datos de partida son correctos en la disposición espacial de los combustibles, sus humedades y la dirección e intensidad del viento permite predecir el perímetro alcanzado por el fuego en los distintas fases de su desarrollo. La correcta determinación del comportamiento futuro del fuego puede ayudar a la planificación de acciones de combate y extinción del fuego.

Del mismo modo que es posible determinar en tiempo real el comportamiento previsto del incendio bajo unas condiciones se puede realizar en la planificación de medidas preventivas donde para unas condiciones meteorológicas sinópticas similares a las acontecidas en época de mayor riesgo permite definir el comportamiento del fuego bajo unas condiciones y pudiendo una vez planificado evaluar económicamente la eficacia de los tratamientos de combustibles.

### Estudio climático en función de las tipologías de fuego y patrones de propagación

La reconstrucción y caracterización de incendios forestales atendiendo a sus patrones de propagación así como la situación sinóptica en la que se han producido ha permitido crear un modelo de ficha-tipo a nivel de zona de meteoalerta donde se incorporan las principales características de cada una de las situaciones sinópticas así como los incendios que han sucedido bajo esas condiciones.

### Planificación de unidades de actuación en materia de prevención de incendios forestales

Este último objetivo no ha sido posible su realización debido a problemas técnicos generados a la hora de definir la metodología de zonas de actuación prioritaria pero será elaborado a posteriori en la realización del plan de prevención de incendios forestales en la zona de meteoalerta Muelas del Ebro-Zuera.

## Bibliografía

---

- AGEE, J. K. 1993. Fire Ecology of Pacific Northwest Forest. Island Press. Washington D.C. 493 pp.
- ALLUE ANDRADE, J.L., 1990. Atlas fitoclimático de España. Taxonomías. Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 221 pp.
- ANDREWS, P. 1986. Fire Behavior prediction and fuel modeling system-burn subsystem, part 1. Gen Tech. Rep. INT-94. Ogden, UT:USFS. Intermountain Forest and Range Experiment Station. 130 pp
- CARDIL, A., MOLINA-TERREN, D.M., RAMIREZ, J., VEGA-GARCÍA, C. 2013 Trends in adverse weather patterns and large wildland fires in Aragón (NE Spain) from 1978 to 2010. Natural Hazards and Earth System Sciences, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1393–1399, 2013
- CASTELLNOU, M.; PAGÉS, J.; MIRALLES, M.; PIQUÉ, M. 2009. Tipificación de los incendios Forestales en Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. Actas del 5º Congreso Forestal Español. Ávila
- CEBALLOS, L y RUIZ DE LA TORRE, J. 1979: Árboles y arbustos de la España peninsular. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, 512 pp.
- COROMINES M., BLANCO E. & RUIZ GARCÍA, A. (2005). Aplicación de la tecnología LiDAR al estudio de la cubierta vegetal. Cuad. Soc. Esp. Cienc. For. 19: pp. 71-77
- COSTA, P., CASTELLNOU, M., LARRAÑAGA, A., MIRALLES, M., DANIEL, P. (2011) La prevención de los Grandes Incendios Forestales adaptada al incendio Tipo. UT GRAF-Fire Paradox
- EASTAUGH, C. & MOLINA DM. 2011. Forest road networks: metrics for coverage, efficiency and convenience. Australian Forestry 2011 Vol. 74 No. 1 pp. 54–61
- GANDULLO, JM. y SERRADA, R. (1977). Mapa de Productividad Potencial. I.N.I.A
- GANDULLO, JM., 1994. Climatología y ciencia del suelo. Escuela Superior y técnica de Ingenieros de Montes-Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, 404 pp.
- GONZÁLEZ-REBOLLAR J.L., 1999. Suelo, relieve, agua y paisaje. Invest Agr: Sist Recur For. Fuera de Serie 1, 123-134.
- GRILLO DELGADO, f.; CASTELLNOU RIBAU, M.; MOLINA TERREN, D.; MARTINEZ LOPEZ, E.; DÍAZ FABABÚ, D. 2008. Análisis del incendio forestal: Planificación de la extinción. Aifema. Granada. 138 pp
- GUERRA, A., GUITIÁN, F., PANEQUE, G., GARCÍA, A., SÁNCHEZ, J.A., MONTURIOL, F. y MUDARRA, J.L. (1996). Mapa de suelos de España. C.S.I.C
- HERNÁNDEZ, R.; 2011. Reconstrucción, tipificación y análisis de incendios históricos en los territorios zaragozanos de la vertiente meridional del Ebro. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. 146 pp. Lérida.
- HORTON, R. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical application of quantitative morphology. Bull. Geol. Soc. América. 56, EE.UU
- LAFRAGÜETA, C. 2013. Incidencia de los Incendios Forestales ocasionados por Rayo. Curso de Modelización e incendios forestales, 28-29 de junio, 2013. Zaragoza
- LAFRAGÜETA, C., CORTÉS, F., ESPEJO, F. y ÁLVAREZ, E. (2009): “Estudio comparado de dos episodios de incendios forestales originados por rayo en Aragón”, 5º Congreso Forestal Español, S.E.C.F., 21-25 de septiembre, 2009, Ávila.
- LÁZARO, M.A.; 2009. Reconstrucción histórica y tipificación de los incendios forestales en el Prepirineo Central y Occidental de Aragón. Proyecto fin de carrera. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. 133 pp. Lérida

- MONTERO DE BURGOS, J.L., GÓNZALEZ REBOLLAR, J.L., GARCÍA SALMERON, J. y SERRADA, R. (1981). Restauración de espacios naturales degradados. Forestación y Reforestación CEOTMA; ICONA Madrid.
- MOORE, I., WILSON J P (1992). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: simplified method of estimation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 47(5), 423-428
- NE'EMAN, G., GOUBITZ, S., y NATHAN, R. (2004) Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire-a critical review. *Plant Ecology*, 171, 69-79
- PAUSAS, J.G. 2004. La recurrencia de incendios en el Monte Mediterráneo. Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). pp 47-64
- RIVAS-MARTINEZ, S. (1987). Mapa de series de vegetación. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. MAGRAMA
- RODRIGUEZ SILVA, F. En VÉLEZ, R. La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y Experiencias. McGraw Hill, Madrid. 2009
- ROTHERMEL, R. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in Wildland fuels. USDA Forest Service
- RUIZ-PEINADO R, RÍO M, MONTERO G, 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems* 20 (1):176-188
- SCOTT, J., BURGAN, R. (2005) Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 72 p
- SHANNON, C. E. & WEAVER, W. (1949): The mathematical theory of communication, Urbana, University of Illinois Press
- TRABAUD, L., GROSMAN, J., WALTER, T. (1985a). Recovery of burnt *Pinus halepensis* Mill. forest I. Understorey and litter phytomass development after wildfire. *Forest Ecology and Management* 12: 269-277.
- VINCE, S.W., DURYEA, M.L., MACIE, E.A. y HERMANSEN, A. (eds.) (2005): Forests at the wildland-urban interface: conservation and management. Boca Raton, CRC Press, 293 págs
- WISCHMEIER, W y SMITH, D. (1978) Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook 537. USDA-SCS. 58 p